Tutela della connettività ecologica del territorio e infrastrutture lineari

87/ 2008

Rapporto Tecnico

Tutela della connettività ecologica del territorio e infrastrutture lineari

---

a cura di Guccione M., Gori M., Bajo N., con la collaborazione di Caputo A.

La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, ha istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).
La presente pubblicazione fa riferimento ad attività svolte in un periodo antecedente l'accorpamento delle tre Istituzioni e quindi riporta ancora, al suo interno, richiami e denominazioni relativi ai tre Enti soppressi.

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma

Dipartimento Difesa della Natura
Servizio Aree Protette e Pianificazione Territoriale

ISBN 978-88-448-0366-7

Elaborazione grafica
ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Paolo Orlandi

Coordinamento tipografico
Daria Mazzella e Simonetta Turco
ISPRA - Settore Editoria

Amministrazione
Olimpia Girolamo
ISPRA - Settore Editoria

Distribuzione
Michelina Porcarelli
ISPRA - Settore Editoria

AUTORI

Maurizio Bacci – IRIS s.a.s. Strategie per l'Ambiente
Anna Rita Baruzzi – Ministero delle Infrastrutture - Dipartimento I
Corrado Battisti – Provincia di Roma-Ufficio Ambiente
Ginevra Beretta – ANAS
Mario Bergamo – Autostrade per l'Italia
Romani Bocognani – Ministero delle Infrastrutture - Dipartimento I
Walter Catalani – ReteFerroviariaItaliana SpA
Paolo Debernardi – ARPA Piemonte
Rossella Degni – Autostrade per l'Italia
Marco Dinetti – LIPU/BirdLife Italia-Settore Ecologia Urbana
Roberto Ferrazza – Ministero delle Infrastrutture - Dipartimento I
Andrea Fiduccia – Università La Sapienza-Progetto HELIOS GIS
Elena Fila Mauro – ARPA Piemonte
Cecilia Frasca – ARPA Piemonte
Gioia Gibelli – Società Italiana di Ecologia del Paesaggio
Matteo Guccione – ISPRA-Dipartimento Difesa della Natura
Paola Martini – IRIS s.a.s. Strategie per l'Ambiente
Vincenzo Mennella – Università degli Studi di Perugia-Dipartimento Uomo e Territorio
Maria Elena Monconi – Università degli Studi di Perugia-Dipartimento Uomo e Territorio
Adel Motawi – TERNA SpA
Moreno Neri – Università degli Studi di Perugia-Dipartimento Uomo e Territorio
Ettore Pacini – Università di Siena-Dipartimento di Scienze Ambientali
Chiara Pietraggi – TERNA SpA
Beti Piotto – APAT-Dipartimento Difesa della Natura
Enrico Rivella – ARPA Piemonte
Riccardo Santolini – Università di Urbino "Carlo Bo"- Istituto di Ecologia e Biologia Ambientale
Raffaele Sirolli – Rete Ferroviaria Italiana SpA
Davide Vietti – ARPA Piemonte
Marco Vizzari – Università degli Studi di Perugia-Dipartimento Uomo e Territorio

Contatti: Matteo Guccione
telefono +39 0650074642
fax +39 0650074013
e-mail matteo.guccione@apat.it

INDICE

PARTE PRIMA

Mitigazioni degli impatti ambientali sugli ecosistemi in conseguenza di infrastrutture lineari

Autori: Marco Dinetti
Maurizio Bacci
Paola Martini
Andrea Fiduccia

1 Premessa al manuale

Il presente manuale è finalizzato a offrire strumenti di indirizzo tecnico nei confronti di soggetti che operano nei settori della progettazione di infrastrutture stradali, della progettazione di interventi ambientali a esse connessi e della valutazione dei progetti stessi.
Lo scopo è quello di trasmettere i concetti di base per studiare la problematica in questione e fornire linee guida per un supporto alla scelta e alla progettazione degli interventi.
Non si entra quindi in dettagli elevati poiché sarà lasciata ai tecnici coinvolti nella progettazione la specifica definizione degli interventi in funzione di ciascun caso, coerentemente con i principi e le tipologie rientranti nelle presenti linee guida.
Nel seguente rapporto viene quindi sviluppata una trattazione sintetica delle problematiche relative all'impatto delle infrastrutture stradali nei confronti della biodiversità e un quadro dei fattori ambientali che entrano in gioco, per poi presentare una rassegna degli interventi di mitigazione e compensazione. Quest'ultima trattazione vieni coadiuvata da una serie di schede tecniche, che rappresentano il corpo principale e operativo del manuale.
Una parte dello studio è stata dedicata alle applicazioni dello strumento GIS alle problematiche in oggetto. In questa fase, non è stato possibile elaborare tali modalità applicative in funzione "manualistica", pertanto tale argomento è stato suddiviso in una parte strettamente relativa alle applicazioni al caso specifico e una parte di descrizione generale dei GIS e degli strumenti informatici e di raccolta dati correlati che viene riportata in appendice. Qualora s'intenda procedere alla redazione del manuale contenente tale argomento, sarà opportuno metterla a punto in modo da omogeneizzarla alla restante trattazione.
Ovviamente, con gli interventi descritti non si intende coprire tutte le tipologie applicabili, sia perché ne esistono già molte varianti, sia perché alcuni casi possono richiede soluzioni particolari. Riteniamo però che, sulla base dell'esperienza dei redattori e delle applicazioni realizzate a livello internazionale, gli interventi qui presentati rappresentino la gran parte delle soluzioni applicabili ed efficaci e che le informazioni riportate possano offrire una utile base anche nel caso si dovesse ricorrere a soluzioni diverse.
Anche le informazioni riportate, riguardo le prestazioni degli interventi, le modalità costruttive, le caratteristiche tecnologiche e i costi, si devono considerare come riferimenti medi, da verificare e valutare di caso in caso, a seconda delle specifiche condizioni applicative e tecnico-economiche legate a ciascun contesto territoriale.
In ogni caso, questo strumento può essere gestito in modo dinamico, ovvero essere sottoposto a futuri aggiornamenti e integrazioni, anche perché l'esperienza in Italia su questo tipo di applicazioni è ancora a uno stadio iniziale. A tal proposito, al termine della relazione, sono stati individuati alcuni auspicabili e interessanti sviluppi del lavoro, che renderebbero completa ed efficace l'azione di supporto tecnico-scientifico agli operatori impegnati al problema in oggetto.
L'APAT potrà svolgere un importante ruolo di raccolta delle future esperienze e segnalazioni da parte degli addetti ai lavori.

2 Introduzione alla *road ecology*

2.1 I termini del problema

In tutto il mondo i trasporti di persone e merci si stanno intensificando: in Europa negli ultimi 25 anni sono più che raddoppiati. Questo comporta il potenziamento della rete infrastrutturale, costituita da strade, autostrade, ferrovie, canali di navigazione interna.

Per far fronte a questa esigenza l'Unione Europea sta investendo in maniera consistente, e lo stimolo più importante nella politica comunitaria dei trasporti è rappresentato dalla Decisione 1692/96/EC conosciuta come TEN-T (Trans-European Network for Transport).

Nel 1996 il TEN-T prevedeva la costruzione e l'adeguamento di 140 progetti, tra cui 15.000 km di nuove autostrade, 11 tracciati ferroviari, 57 progetti di trasporto combinato e 26 vie di trasporto in acque interne. Per il 2010 è prevista la realizzazione di oltre 12.000 km di nuove strade.

Negli ultimi tre decenni in Italia la motorizzazione è incrementata del 250%, se si considera che nel 1970 il rapporto tra auto e persone era di 1 ogni 5,3 salito nel 1997 a 1 ogni 1,8.

Nel nostro Paese la rete stradale primaria si compone di:
- 6.478 km di autostrade
- 16.611 km di strade di interesse nazionale
- 29.432 km di strade con competenze trasferite alle Regioni
- 114.909 km di strade provinciali
- 670.000 km di strade comunali

La maggior parte delle infrastrutture viarie si sviluppa nelle pianure.

La densità media è di 158,3 km di strade e autostrade ogni 100 kmq di territorio; la superficie occupata è pari a circa il 2,5% dell'intero territorio nazionale.

2.2 L'importanza della biodiversità

Al tempo stesso la nostra società riconosce l'insostituibile ruolo rivestito dalla biodiversità, per una serie di motivi: ecologici, economici e sociali.

Dal Vertice per la Terra della Conferenza delle Nazioni Unite per l'Ambiente e lo Sviluppo (UNCED, Rio de Janeiro, giugno 1992), dove fu siglata la Convenzione sulla Biodiversità, si è diffusa una cultura che tende allo sviluppo sostenibile, nella quale si riconosce che la biodiversità deve permeare tutte le politiche di settore.

In Europa lo strumento di riferimento è la Strategia Pan-Europea sulla diversità biologica e del paesaggio (PEBLanDS), approvata nel 1995 dalla Conferenza Paneuropea del Ministri dell'Ambiente a Sofia, allo scopo di coordinare l'applicazione della Convenzione sulla Biodiversità in tutto il territorio europeo, riconoscendo l'importanza del paesaggio, inclusi gli aspetti di protezione, gestione e miglioramento. Uno dei temi principali della Strategia è l'integrazione della diversità biologica negli altri settori socio-economici, incluse le politiche dei trasporti.
Ai sensi della Direttiva Habitat, se un piano o progetto deve essere realizzato, per motivi imperativi di rilevante interesse pubblico, in un sito di importanza comunitaria, lo Stato membro deve adottare ogni misura compensativa necessaria per garantire che la coerenza

globale della rete Natura 2000 sia tutelata. Lo Stato membro deve informare la Commissione Europea circa le misure compensative adottate.
La Strategia Pan-Europea per la diversità biologica e paesaggistica (1996) è stata adottata allo scopo di arrestare il degrado ambientale in Europa. Il tema di azione n. 2 riguarda l'integrazione della diversità biologica e paesaggistica negli altri settori, incluso quello dei trasporti.
In particolare, le aree protette per il paesaggio e la diversità biologica sono particolarmente vulnerabili dai trasporti e devono quindi essere tendenzialmente evitate. Considerando che esse riguardano soltanto una parte limitata dell'intero territorio, occorre considerare gli effetti anche sull'intero paesaggio.
Nel livello decisionale, è quindi basilare che lo sviluppo delle politiche dei trasporti e delle infrastrutture venga integrato con la diversità biologica e paesaggistica, allo scopo di ottenere una rete di trasporti più sostenibile in Europa.

2.3 Direttive e linee guida a livello europeo

Nel 2003 il Consiglio d'Europa ha realizzato un "Codice pratico per l'introduzione delle considerazioni riguardanti la diversità biologica e paesaggistica nel settore dei trasporti" (Bickmore, 2003), quale contributo verso tale direzione.
Il Codice riguarda il sistema dei trasporti lineari, incluse strade, ferrovie e corsi d'acqua navigabili interni. Il suo scopo è quello di aiutare i politici, gli amministratori, gli operatori e gli ambientalisti nella comprensione dei principali argomenti e soluzioni connesse con la pianificazione, progettazione e utilizzo della rete dei trasporti, rispetto alla biodiversità ed al paesaggio.

Per valutare le relazioni tra ambiente e trasporti, il Comitato di attività del Consiglio d'Europa nel campo della diversità biologica e paesaggistica istituì nel 1998 il Gruppo di Lavoro "Ambiente e trasporti", le cui attività hanno permesso di redigere il "Code of practice for the introduction of biological and landscape diversity considerations into the transport sector", pubblicato al n. 131 della serie "Nature and environment" del Consiglio d'Europa.

Parallelamente, si sviluppò un Progetto nell'ambito della cooperazione europea nel campo della ricerca scientifica e tecnica, denominato "COST Action 341 - Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure", a cui hanno aderito 14 Paesi. Lo scopo del progetto è stato la definizione della panoramica a livello europeo delle problematiche nel campo della frammentazione ambientale causata dalle infrastrutture di trasporto, promuovendo il dialogo tra ingegneri civili e biologi, tra ecologi del paesaggio e studiosi di singole specie, e tra aspetti teorici e applicativi. Il Progetto COST 341, presentato a Bruxelles nel novembre 2003, ha prodotto una serie di documenti.

"The European Review": fornisce la panoramica del problema della frammentazione degli ambienti naturali causata da strade, ferrovie e canali in Europa, esaminando anche le soluzioni correntemente applicate e i report nazionali sullo stato dell'arte.

"Wildlife and Traffic: a European Handbook for identifying conflicts and designing solutions": è un manuale tecnico che ha utilizzato le conoscenze accumulate dagli esperti dei vari Paesi per offrire una guida pratica a quanti sono coinvolti nella progettazione, costruzione e gestione delle infrastrutture di trasporto.

Dalla metà degli anni '90 ha preso addirittura forma una disciplina specifica, la "road ecology" (Sherwood et al., 2002; Spellerberg, 2002; Forman, 2003), al fine di comprendere

come le diverse forme di vita cambiano quando vi è una strada nei paraggi e, al tempo stesso, come esse possano condizionare l'infrastruttura. Secondo Forman (2003) una strada è una via aperta per il passaggio dei veicoli e l'ecologia è lo studio delle relazioni tra gli organismi e il loro ambiente. La loro combinazione descrive l'essenza della road ecology, quindi le interazioni tra l'ambiente naturale e la rete stradale.

2.4 La situazione in Italia

Pur non aderendo ufficialmente al Progetto COST 341, l'Italia ha fornito una serie di informazioni sulla situazione nazionale grazie al Progetto "Sicurezza strade/fauna", svolto dalla LIPU (Lega Italiana Protezione Uccelli) e finanziato negli anni 2001-2002 dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione Generale delle Strade e Autostrade. Questo progetto ha finora realizzato le seguenti azioni:

- rapporto tecnico sulla sicurezza "biodiversità/trasporti" e lo stato dell'arte in Italia rispetto al problema "fauna/strade" (introduzione, normativa, contesto europeo e internazionale, stato dell'arte in Italia, casi-studio italiani, gli attori, principali azioni di mitigazione, conclusioni, bibliografia, appendice con le schede dei 141 casi-studio italiani);
- catalogazione della bibliografia tecnico-scientifica, italiana e internazionale (547 pubblicazioni: 89 italiane; 294 europee, 140 americane, 22 altri Paesi);
- campagna educativa di sensibilizzazione (stampa di un depliant, coinvolgimento media).

Attualmente è ancora assente una politica dettagliata e coordinata a livello nazionale sul tema dell'inserimento ecologico delle infrastrutture viarie negli ecosistemi, malgrado il Nuovo Piano Generale dei Trasporti (2000) abbia fissato alcuni obiettivi ambientali di riferimento, quali i rapporti tra la rete infrastrutturale e la rete ecologica nazionale, quest'ultima rivolta alla conservazione della diversità biologica e costituita dai parchi e dalle altre aree protette, insieme ai corridoi ecologici di connessione. L'Italia si trova quindi ad affrontare con notevole ritardo questo argomento delicato, nonostante i primi tentativi di parlare del rapporto tra strade e ambiente risalgano agli anni '70 e negli anni '80 siano stati realizzati i primi attraversamenti faunistici (autostrade del Friuli-Venezia Giulia).

Gli ultimi anni hanno però visto un positivo fermento di iniziative, anche a livello locale, promosse da enti pubblici, enti gestori, associazioni, istituti di ricerca.

Sono stati organizzati anche convegni specifici, di cui il più recente "Infrastrutture viarie e biodiversità. Impatti ambientali e soluzioni di mitigazione" si è svolto a Pisa nel novembre 2004, a cura della Provincia di Pisa, dell'*Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale* (ARSIA), della Regione Toscana, del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Pisa e della LIPU.

Al convegno sono stati presentati i risultati del Progetto COST 341 e le principali esperienze condotte in Italia e al termine è stata approvata una risoluzione di cui si riporta di seguito il testo integrale.

2.5 *Documento "risoluzione" del convegno "Infrastrutture viarie e biodiversità. Impatti ambientali e soluzioni di mitigazione" – Pisa, novembre 2004*

PRESUPPOSTI PER UNA STRATEGIA NAZIONALE E LOCALE PER L'INTEGRAZIONE DELLA CONSERVAZIONE DELLA BIODIVERSITA' NELLE POLITICHE DEI TRASPORTI E DELLE INFRASTRUTTURE

RISOLUZIONE DEL CONVEGNO
I partecipanti al Convegno "Infrastrutture viarie e biodiversità. Impatti ambientali e soluzioni di mitigazione" organizzato dalla Provincia di Pisa, dall'ARSIA della Regione Toscana, dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Pisa e dalla LIPU, riuniti a Pisa nella giornata di Giovedì 25 Novembre 2004

CONSAPEVOLI CHE
il trasporto di passeggeri e merci è più che raddoppiato negli ultimi 25 anni in Europa;
l'Unione Europea ha investito in maniera decisa ai fini dello sviluppo della rete di trasporto (TEN-T, Decisione 1692/96/EC);
in Italia la motorizzazione ha subito un incremento del 250% negli ultimi 30 anni

ATTENTI
alle conseguenze e agli impatti ambientali causati dalla costruzione e dalla fruizione di strade, autostrade ed altre infrastrutture, con la continuità delle reti ecologiche che viene interrotta dalla rete tecnologica

INDIVIDUANO
quali principali impatti agli ecosistemi l'inquinamento ed il disturbo, la distruzione degli habitat, la frammentazione ambientale, l'"effetto barriera" nei confronti degli spostamenti degli organismi terrestri, l'investimento di fauna selvatica

SOTTOLINEANO
che gli incidenti tra autoveicoli ed animali causano elevate perdite anche tra specie rare, oltre a costituire un tema di sicurezza stradale, in quanto viene messa a repentaglio la sicurezza dei veicoli e di chi li occupa, soprattutto se l'animale coinvolto è un mammifero di grossa taglia

RICHIAMANO L'ATTENZIONE
sulle iniziative di prevenzione, mitigazione e compensazione ambientale implementate in tutta Europa allo scopo di rendere strade ed altre infrastrutture più sicure e compatibili per automobilisti, animali ed habitat

CON PARTICOLARE RILIEVO
alle attività promosse dal Consiglio d'Europa attraverso il Gruppo di Lavoro "Ambiente e Trasporti" che ha stilato il "Code of practice for the introduction of biological and landscape diversity considerations into the transport sector", quelle del Progetto Europeo COST Action 341 "Frammentazione degli habitat causata dalle infrastrutture di trasporto", oltre ai lavori di IENE Infra-Eco-Network-Europe

RILEVANO
che negli ultimi anni anche in Italia si sono diffuse una serie di iniziative, sia a carattere nazionale che locale, e molti sono gli enti e le organizzazioni a vario titolo coinvolte

INVITANO
il Governo Centrale a dotarsi di una strategia nazionale per integrare le esigenze della tutela della biodiversità nelle politiche dei trasporti e dello sviluppo infrastrutturale;
tutte le Amministrazioni Pubbliche e le Agenzie responsabili della progettazione e gestione di infrastrutture di trasporto a munirsi di: 1) Linee-guida per la progettazione degli interventi di mitigazione e compensazione ambientale, ciascuna in base alla propria competenza e scala territoriale; 2) un obiettivo di deframmentazione degli habitat e di messa in sicurezza delle infrastrutture viarie rispetto alla fauna selvatica per i prossimi 10 anni;
le Istituzioni, accademiche e non, preposte alla formazione ed all'aggiornamento professionale, a sviluppare percorsi idonei ad accrescere la consapevolezza ed il livello tecnico e scientifico sul tema delle interazioni tra infrastrutture e biodiversità

RICHIEDONO INFINE
l'aggiornamento periodico dell'archivio nazionale delle iniziative sul tema "strade e fauna" già impostato con il Progetto "Sicurezza Strade/Fauna" del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e realizzato dalla LIPU;
l'attivazione di iniziative di monitoraggio per verificare il corretto inserimento ambientale delle misure di mitigazione e compensazione ambientale, nonché l'effettivo utilizzo da parte della fauna selvatica.

3 Gli impatti ecologici strade-fauna

3.1 Impatti sulla biodiversità: generalità

La costruzione e l'esercizio delle infrastrutture viarie provoca una serie di pesanti impatti sugli ecosistemi e sulla biodiversità.

Le strade di grande comunicazione e le autostrade amplificano tali impatti, a causa della notevole quantità di territorio interessato e dell'elevato flusso di veicoli.
Gli effetti ecologici delle strade non sono limitati all'area realmente occupata dalla strada e dalle relative pertinenze. Sono stati effettuati alcuni tentativi per stimare l'area complessivamente soggetta agli effetti ecologici indotti dalla presenza dell'infrastruttura viaria ("road-effect zone"): ad esempio per un'autostrada a quattro corsie negli Stati Uniti gli effetti si estendono mediamente oltre 100 metri da entrambi i lati, considerando le modifiche idrogeologiche, l'afflusso di sali antineve nelle acque di superficie, l'invasione da parte di vegetazione aliena piantata nelle banchine entro le foreste adiacenti, l'alterazione dell'uso dell'habitat da parte di mammiferi, uccelli e anfibi. Dipendentemente dal tipo di impatto e dalle caratteristiche degli ambienti circostanti alla strada, gli effetti si possono manifestare fino a qualche centinaio di metri o addirittura fino a 1500 metri.

Un gran numero di aree protette (parchi nazionali, parchi regionali, ecc.) e di siti di importanza ecologica comunitaria individuati ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE) e facenti parte della rete ecologica europea Natura 2000 hanno strade importanti a meno di 5 km di distanza.

Si descrivono sinteticamente di seguito le principali categorie d'impatto determinabili dalle infrastrutture viarie che possono interessare, direttamente o indirettamente, la biodiversità.

3.1.1 <u>Distruzione e alterazione degli ecosistemi</u>

La costruzione delle infrastrutture viarie e delle pertinenze relative (ponti, svincoli, aree di servizio, ecc.), dei cantieri e strade di servizio, nonché dei siti interessati da discariche e approvvigionamento materiali, determina un consumo di porzioni importanti di territorio, prima in prevalenza occupate da habitat naturali o semi-naturali. Si verifica quindi una perdita diretta di ecosistemi.

3.1.2 <u>Urbanizzazione e antropizzazione del territorio</u>

Uno dei principali impatti causati dall'urbanizzazione è la frammentazione degli habitat. Man mano che la matrice del paesaggio passa da una copertura di vegetazione naturale a usi urbani, gli habitat diventano relitti disconnessi e isolati dagli altri.

Lungo le strade e soprattutto nei pressi degli svincoli tendono a svilupparsi centri commerciali e di servizi, zone industriali, piazzali di sosta delle merci e dei container, insediamenti sportivi e ricreativi, nuovi quartieri residenziali.

La presenza delle strade incentiva anche la penetrazione capillare e di massa delle persone sul territorio, facilitando attività sia lecite che abusive (attività sportive, raccolta di prodotti del bosco, attività venatoria, rilascio rifiuti, fuoristrada, vandalismo, incendi, ecc.), che comunque determinano frequentemente notevoli impatti sull'ambiente, peraltro difficilmente controllabili.

Le stesse attività di cantiere ed estrazione delle materie impiegate per la costruzione dell'opera, spesso proseguono la loro attività a servizio di altri interventi: in particolare le cave tendono a consolidarsi quali siti di estrazione anche dopo la conclusione dell'opera.

Occupazione del suolo per tipologie standard di strade e ferrovie

	tipologia	sezione totale (m)	superficie occupata (ha/km)
Ferrovie	classica	25	2,5
	alta velocità	35	3,5
Strade	2x1 corsie	60	6,0
	2x2	90	9,0
	2x3	100	10,0

3.1.3 Impatti sull'idrogeologia

La realizzazione di una strada altera la morfologia del territorio, a causa di sbancamenti, movimenti di terra, gallerie, apertura di cave da cui procurare materiali da costruzione e di discariche in cui depositare materiali di risulta, ecc.

Queste attività producono modifiche e interferenze su qualità e quantità dell'acqua superficiale e sotterranea, erosione, compattamento e impermeabilizzazione del suolo, modifiche del trasporto solido e dei regimi idrologici, dilavamento dei sali minerali, aumento del rischio di frane e smottamenti, degrado degli ambienti umidi, ecc.

Tratti di fiumi, torrenti e canali vengono tipicamente deviati, canalizzati e interferiti, aree umide ridotte o drenate, riducendo o perdendo la loro importante funzione di habitat e corridoio ecologico.

3.1.4 Alterazione del microclima

Le strutture stradali e il loro esercizio determinano condizioni locali fortemente differenziate rispetto all'ambiente circostante. L'asfalto che si riscalda rapidamente realizza un microclima nettamente diverso dalle zone adiacenti: una strada manifesta temperature, evaporazione e insolazione elevata. Anche la velocità del vento aumenta grazie all'effetto corridoio. All'imbocco delle gallerie si verificano variazioni microclimatiche provocate dall'effetto camino, con l'aggiunta dell'inquinamento atmosferico.

3.1.5 Inquinamento

Le fonti d'impatto possono essere permanenti o temporanee, certe o probabili (es. sversamento accidentale di sostanze).

I veicoli rilasciano gas e polveri dalla combustione del carburante. Da ricordare che le emissioni di CO_2 (principale gas serra climalterante prodotto dai trasporti) sono aumentate del 4,2% tra il 1995 ed il 1997, in contrasto con l'esigenza di riduzione prevista dal Protocollo di Kyoto.

Spesso si verificano perdite accidentali o deliberate di materiali liquidi e solidi (incidenti, dispersione di rifiuti).

I sali antineve si depositano sulla vegetazione circostante o vengono assorbiti dalle radici. Il dilavamento dell'asfalto e il convogliamento delle sostanze nei corsi d'acqua e nelle falde sono in grado di trasferire il danno anche a distanza, sia spaziale che temporale.

L’accumulo di piombo e cadmio nel suolo e nelle piante è nettamente maggiore nelle strade con elevato volume di traffico. Una serie di studi ha mostrato che presso le strade piante e invertebrati assumono caratteristiche morfologiche e funzionali alterate.

Problemi d’inquinamento significativi avvengono anche nella fase di cantierizzazione, per via dei mezzi e dei prodotti utilizzati nonché della movimentazione, stoccaggio e smaltimento di materiali.

3.1.6 Disturbo

L’inquinamento acustico (rumore), le luci, le vibrazioni, gli stimoli visivi dei mezzi in movimento non sono ben tollerati da alcune specie di animali.

Nelle fasce lungo le strade la densità di alcune specie di uccelli si riduce, in particolare perché il rumore del traffico altera la possibilità di comunicare attraverso le emissioni canore. Questi effetti si verificano a partire da 40-50 dbA.

Anche l’illuminazione artificiale altera il comportamento di diverse specie (insetti, pipistrelli, uccelli, ecc.).

L’ampiezza della zona coinvolta è funzione del volume di traffico e delle caratteristiche del territorio: terrapieni e fasce alberate possono attutire il disturbo.

In media, la fascia interessata dall’impatto della strada si estende per circa 200 metri su ogni lato. Questo corrisponde a oltre 10 volte la superficie realmente occupata dalla infrastruttura.

3.1.7 Frammentazione ecosistemica

Si determina quando un ambiente, quale può essere un bosco o una palude, viene suddiviso in due o più porzioni, che risulteranno più piccole come superficie e maggiormente isolate tra loro. La frammentazione ambientale è oggi riconosciuta come una tra le principali minacce globali alla conservazione della diversità biologica.

Questo effetto, ecologicamente molto pericoloso, riduce la vitalità delle popolazioni animali, in quanto il territorio a disposizione diminuisce, e diventa più difficile la dispersione degli individui sul territorio stesso e le possibilità di incontro e di scambio genetico. In particolare le specie poco mobili e meno adattabili non sono in grado di sostenere un elevato grado di frammentazione ambientale, e possono estinguersi localmente.

L’indice principale per determinare gli effetti ecologici della frammentazione ambientale è la densità delle strade, espressa in km/km^2. La soglia oltre la quale si verifica la diminuzione di molte specie corrisponde tipicamente a una densità superiore a 0,6 km/km^2.

In Italia l’ampiezza media delle parcelle di habitat non frammentato è pari a circa 100 km^2, mentre la media europea è di circa 130 km^2.

3.1.8 Effetto “corridoio”

La frammentazione ambientale, con molte “isole” (patch) di habitat immerse nella matrice, esalta inoltre l’“effetto margine” (aumento delle zone ecotonali).

L’infrastruttura crea un nuovo ambiente, che in certi contesti altamente antropizzati (es. monocolture agricole) può generare effetti positivi, ma in ogni caso vengono favorite le specie più adattabili rispetto a quelle specialiste.

Le fasce di ambiente che si realizzano lungo le strade causano un effetto corridoio, che facilita la propagazione delle specie, comprese però quelle esotiche e invasive.

3.1.9 Effetto "barriera"

La possibilità di movimento e di relazione tra meta-popolazioni di animali selvatici terrestri, soprattutto delle specie più piccole e lente (micromammiferi, anfibi, invertebrati), viene ridotta dalla presenza delle infrastrutture viarie.

Per alcune specie (es. invertebrati) anche una strada larga soltanto 6 metri costituisce una barriera invalicabile.

In presenza di un flusso veicolare elevato (oltre 10.000 veicoli/giorno) e/o di recinzioni e barriere tipo "new jersey" l'ostacolo diventa totale, con separazione netta di popolazioni che vivono in territori adiacenti.

3.1.10 Mortalità stradale per investimento

I veicoli travolgono e uccidono ogni anno un gran numero di animali di ogni specie, dalle più comuni alle più rare.

Gli studi sulla mortalità stradale di fauna selvatica ("road mortality") condotti in tutti i continenti hanno prodotto risultati allarmanti, mostrando perdite elevate per molte specie. In Europa vengono stimati dai 10 ai 100 milioni tra uccelli e mammiferi travolti ogni anno sulle strade. Secondo una nuova procedura di calcolo elaborata in Svezia, per ogni 10.000 km percorsi da un veicolo si produrrebbe l'uccisione di un uccello. Per un anfibio la probabilità di restare ucciso su una strada con un flusso di 500 veicoli/ora è del 18% e per un micromammifero del 10%. La mortalità stradale incide sull'1-4% delle popolazioni di specie comuni, ma può arrivare al 40% nelle specie più sensibili.

In ciascuna provincia italiana si stimano oltre 15.000 animali travolti ogni anno, e la tendenza generale va verso l'aumento, alla luce dell'espansione della rete stradale e dell'incremento dei volumi di traffico.

Nonostante i molti studi condotti (anche in Italia), occorre considerare che una valutazione complessiva precisa è difficile: molti incidenti non vengono registrati e una parte degli animali feriti finisce negli ambienti circostanti oppure vengono predati. In ogni caso, questo fattore potrebbe essere il più importante tra le cause di mortalità per la fauna provocate dalle attività antropiche.

Altri incidenti, spesso mortali per gli uccelli, sono provocati da urti accidentali contro cavi tesi, fili elettrici, superfici trasparenti, quali i pannelli fonoassorbenti in vetro o plexiglass,

Le specie terrestri di piccole dimensioni (micromammiferi, anfibi, invertebrati) restano intrappolate e soccombono entro pozzetti, canalizzazioni, tubature, canali con sponde ripide.

Le specie numericamente più colpite dalla mortalità stradale sono:

Mammiferi: Riccio

Anfibi: Rospo

Uccelli: rapaci notturni (Barbagianni e Civetta)

3.2 Viabilità e rete ecologica

La rete viaria italiana - costituita da autostrade, strade, ferrovie, carrerecce, tratturi, sentieri e simili - è molto vasta, variegata e coinvolge gran parte del territorio; è evidente quindi come rappresenti un fattore di incidenza e di interazione nei confronti dei sistemi ambientali coinvolti.
Nel considerare la viabilità assumiamo di comprendere il sedime del tracciato, gli elementi che fanno strettamente parte dell'opera, ma anche le fasce di pertinenza, perché interessati dalla gestione oppure elementi architettonici, di arredo, di rispetto o comunque influenzati dalla viabilità stessa o dal traffico.
Gli effetti ambientali della presenza sul territorio di un corridoio viario sono perlopiù negativi, di impatto e disturbo, ma talvolta si possono verificare anche vantaggi, e ciò dipende molto dal tipo di viabilità. Infatti, per tutti i fattori considerati, sia qualitativamente che quantitativamente, ci sono differenze sostanziali fra la viabilità principale, corrispondente alle infrastrutture viarie, e quella secondaria. Anche per quest'ultima va distinta quella carrabile a transito corrente da quella pedonale, normalmente in terra, o a transito occasionale, le quali non comportano quasi mai effetti ambientali negativi di rilievo. Le infrastrutture viarie generano notevoli impatti nei confronti della rete ecologica, specie per l'effetto di frammentazione; solo in alcuni casi e per alcune componenti possono indurre qualche specifico beneficio. Nel caso invece della viabilità secondaria, specie quella interessata da traffico non motorizzato, in molti casi (ma non sempre!) possono determinarsi opportunità interessanti (ci riferiamo al territorio italiano).
Va sottolineato anticipatamente che, come vedremo soprattutto in alcuni casi, gli effetti dovuti a una determinata situazione, indotta dalla presenza della viabilità e/o del transito di mezzi, possono essere positivi o negativi contestualmente, in maniera più o meno spostata in un senso o nell'altro a seconda della tipologia di opera, delle condizioni di utilizzo, del contesto territoriale, del periodo di tempo. Sarà allora importante conoscere adeguatamente la situazione, cercare di prevederne le sue dinamiche e, successivamente ad eventuali interventi di nuove ralizzazioni o modifiche, attuare piani di monitoraggio sulla cui base adottare azioni di gestione o interventi finalizzati alla mitigazione ambientale.
Cerchiamo di inquadrare in sintesi i principali effetti dei corridoi viari nei confronti dello stato di conservazione e di qualità e del funzionamento della rete ecologica.
Tutti gli effetti citati sono negativi nei confronti dell'ambiente in generale, ma si possono individuare conseguenze indesiderate direttamente nei confronti dello stato della rete ecologica o di suoi singoli componenti.

3.2.1 Effetti negativi

IL TRACCIATO:

1. nel caso delle infrastrutture viarie, scompone o frammenta la rete ecologica, creando discontinuità e aree intercluse alla permeabilità ambientale (isolamento);
2. occupa una porzione di territorio sottraendolo ad altri usi; non è detto però che l'alternativa alla viabltà sarebbe stata più naturale (si pensi p.e. alle aree fortemente industrializzate o urbanizzate, ma anche a qualle ad agricoltura intensiva);
3. può incrementare il dissesto idrogeologico, specie quando "spezza" un versante o un reticolo idraulico (e questo vale anche per la viabilità minore);
4. l'eventuale vegetazione laterale non è sempre positiva, ma spesso è costituita da specie infestanti non autoctone e può funzionare da corridoio ecologico negativo facilitando il trasferimento di specie vegetali o animali alloctone; questo fenomeno si verifica

perlopiù lungo le fasce e le aree collaterali (p.e. i bordi stradali), ove è più agevole lo sviluppo di specie marginali e generaliste;

5. l'immissione lungo i bordi e le scarpate (p.e. quelle ferroviarie) di composti chimici a fini diserbanti determina non solo un certo inquinamento idrico, ma contribuisce alla selezione di specie vegetali e animali resistenti, che spesso si identificano con quelle esotiche indesiderate, riducendo anche sensibilmente al biodiversità;
6. nel caso di ammodernamenti di strade extraurbane o di realizzazione di nuovi tracciati, la normativa in materia non consente la presenza di vegetazione arborea entro una fascia di alcuni metri di distanza dal ciglio stradale: ciò comporta un grave impatto globale, tenendo conto della notevole loro estensione chilometrica a livello nazionale e del fatto che, spesso, rappresentano gli unici corridoi vegetali in una determinata area;
7. un ulteriore effetto negativo nei confronti dell'ambiente, con intensità locali più evidenti, è rappresentato dalle aree di servizio autostradali, da parcheggi, svincoli e simili, sia perché vi si possono concentrare alcuni tipi di impatti e di rischi sia perché possono determinare aree intercluse alla permeabilità ecologica o che inducono una significativa frammentazione ambientale; anche l'inquinamento luminoso rappresenta un disturbo alla fauna. con fenomeni di deviazione dai corridoi ecologici;
8. non va tralasciato, fra i potenziali effetti negativi, il transito anche pedonale in aree a elevato pregio naturalistico (disturbo alla fauna, rischio di accadimento di eventi dannosi, ecc.);
9. in generale poi le infrastrutture di trasporto principali rappresentano elementi rigidi non solo nello spazio ma anche nel tempo, riducendo i gradi di libertà della dinamica ambientale: l'adattamento e la ricerca all'ottimizzazione della rete ecologica del territorio interessato divengono quindi più vincolate.

3.2.2 Possibili effetti positivi

IL TRACCIATO:

1. fatti salvo i problemi rilevati al precedente punto 4, si può costituire un corridoio ecologico quando è presente vegetazione ai fianchi del tracciato, inserita storicamente (p.e. i filari di cipresso toscani o le alberature di platano padane) o cresciuta lungo le scarpate o le fasce attigue; tali corridoi, pur essendo in molti casi di modesto valore ecologico assoluto, spesso rappresenta l'unica discontinuità all'artificializzato e l'unico supporto naturale nelle aree fortemente antropizzate o soggette ad agricoltura intensiva;
2. nel caso di sentieri o carrerecce interne ad aree eco-monotone (p.e. pinete di rimboschimento), queste viabilità costituiscono una fascia "di respiro" (ambienti aperti o semiaperti e/o di margine), lungo la quale tende a riconquistare spazio la vegetazione grazie alla luce e, di conseguenza, si verifica un marcato incremento dell'eterogeneicità ambientale (per contro c'è il rischio, sopra citato, di sviluppo di specie indesiderate); lo spazio libero del tracciato può rappresentare una via preferenziale facilitata per lo spostamento della fauna e per la caccia da parte di predatori (questo però, nel contempo, può incrementare il rischio di incidentalità nel caso di traffico significativo);
3. i canali di drenaggio, spesso attigui ai tracciati stradali, possono essere anch'essi elementi ecologici positivi, anche tali da realizzare biotopi di un certo valore (p.e. nel caso di ristagno); una opportunità interessante è rappresentata dalle vasche di raccolta delle acque di prima pioggia che, se concepite tenendo conto dell'inserimento ambientale, possono effettivamente assumere un ruolo biotopico (ecosistemi filtro);
4. le aree descritte al punto 6 degli effetti negativi, in alcuni casi possono aiutare alla maggiore permeabilità del sistema infrastrutturale, specie se concepite tenendo conto

dell'inserimento paesaggistico-ambientale (vi sono esempi nel Nord Europa, in Svizzera e Francia in particolare);

5. i bordi e le scarpate stradali, se di tipologia adatta e inserite in certi contesti naturali, possono instaurare ecotoni con specificità o dar luogo a nuovi habitat, di specie sia animali (p.e. rettili nei rilevati) che vegetali (p.e. molte specie erbacee e floristiche ruderali); ciò avviene (in alternativa o in combinazione) per l'introduzione di condizioni del suolo diverse da quelle presenti nel territorio, per specifiche situazioni microclimatiche, per la riduzione artificiosa della concorrenza biologica; nel caso tali fasce siano soggette a interventi di ingegneria naturalistica (se ben progettata dal punto di vista della scelta della vegetazione), si possono accelerare i processi di vegetalizzazione naturale;
6. le fasce di terreno attigue ad alcune tipologie di strade o alle ferrovie ricadono nelle proprietà demaniali o comunque pubbliche, oltre a sussistere fasce di rispetto; ciò facilita l'instaurarsi di corridoi laterali liberi da strutture o da usi impropri oppure rende più agevole l'attuazione (a livello politico-amministrativo) di destinazioni d'uso a fini ambientali;
7. una ricucitura alla frammentazione determinata dalle infrastrutture stradali viene realizzata grazie ai "passaggi per fauna", che, se ben concepiti, possono permettere il mantenimento dei corridoi ecologici, pur rappresentando punti di vincolo dell'asse degli stessi e quindi un fattore di rigidità della dinamica della rete.

Alcuni dei suddetti effetti, positivi e negativi, possono avvenire contestualmente, parzialmente e determinare fenomeni di interazione e sinergia. Inoltre, va considerato il fatto che, dato che molti tipi di tracciati stradali determinano giocoforza una separazione di porzioni del territorio modificando, in ogni caso, le direttrici dei corridoi ecologici e, quindi, la configurazione stessa della rete. Quindi, al di là del grado di permeabilità che si può riuscire a mantenere, si verifica un irrigidimento della dinamica della geometria della rete e, quasi sempre, una sua semplificazione (riduzione quantomeno del numero dei corridoi).

Per azioni di mantenimento o di riqualificazione della rete ecologica, particolare importanza rivestono le "vie verdi" (*greenways*), ovvero la viabilità minore e la rete sentieristica e ciclabile, poiché, essendo destinata a priori a usi "soft", la presenza di vegetazione e di un certo stato di naturalità (sono di solito compatibili forme e tracciati "rustici") è tollerabile o, addirittura, ricercata. Occorre quindi spingere affinché i soggetti pianificatori e gestori di tali tracciati tendano a incentivare un loro assetto il più possibile naturaliforme e di elevata qualità paesaggistica. Aree sosta e incroci principali potrebbero essere concepiti in modo da costituire anche un luogo attraente per la fauna che tende a muoversi lungo tali percorsi, se non farli coincidere con i nodi della rete ecologica vera e propria (p.e. abbeveratoi, stagni, boschetti, arbusteti, ecc.), ove tale rete non presenta alternative.

Specie nei territori fortemente antropizzati o denaturalizzati, certi tipi di rete viaria possono pertanto rappresentare una opportunità per il recupero almeno parziale della rete ecologica. In ogni caso il sistema viario rappresenta un importante fattore di influenza sulla rete ecologica, e quindi è molto importante concepirne opportunamente le sue caratteristiche e la sua gestione in modo da minimizzarne, per quanto possibile, gli impatti nei confronti della rete ecologica.

Infine, pensando alle azioni concrete per ridurre gli impatti ambientali delle strutture viarie nei confronti della rete ecologica, va ricordato come i progetti attualmente in previsione o in itinere, se da un alto comportano un incremento della infrastrutturazione del territorio (con evidenti notevoli impatti), dall'altro prevedono anche interventi di ristrutturazione e adeguamento delle opere alle nuove norme in materia di costruzioni, di sicurezza e di ambiente. Se le procedure di progettazione, realizzazione e verifica vengono gestite

adeguatamente, vi possono quindi essere importanti spazi per ridurre l'impatto attuale e per introdurre misure specifiche per l'incremento della permeabilità ambientale e per la rimozione di situazioni critiche (p.e. alternative radicali di tracciato nel caso di compromissioni di nodi ecologici o di corridoi cardine). Una casistica significativa può essere rappresentata dai recenti progetti, studi e procedure di valutazione di impatto ambientale applicate agli adeguamenti e ai nuovi tratti autostradali.

3.3 Reti ecologiche e deframmentazione del paesaggio

Nell'ambito della ricerca di un modello di sviluppo sostenibile, in cui il patrimonio essenziale costituito dalle risorse naturali sia adeguatamente conservato, è indispensabile che la società umana armonizzi le proprie esigenze con quelle del "resto della natura".

Una delle sfide principali è la promozione delle reti ecologiche a fianco della rete tecnologica (strade, ferrovie, elettrodotti, ecc.).

In molte situazioni le due reti si incrociano e in genere la rete tecnologica ha il sopravvento, interrompendo la continuità della rete ecologica.

In tal modo il territorio e gli ecosistemi risultano progressivamente frammentati e isolati.

In tutto il mondo i governi e gli enti gestori hanno promosso politiche e azioni finalizzate alla riduzione degli impatti ecologici causati dalle infrastrutture di trasporto. In questo modo si cerca di migliorare la sicurezza stradale, sia a favore degli utenti che della biodiversità.

Le istruzioni contenute nel presente manuale hanno lo scopo di evitare la deframmentazione ecosistemica, rendendo le infrastrutture viarie maggiormente permeabili alla biodiversità, e garantendo un attraversamento in sicurezza da parte della fauna selvatica.

Appare indispensabile che tutti gli enti preposti alla progettazione, approvazione, realizzazione e gestione di infrastrutture viarie (ANAS, società autostradali, Ministero dell'Ambiente, amministrazioni regionali, provinciali e comunali) individuino l'obiettivo di deframmentazione del proprio territorio da perseguire nel medio termine (p.e. nel prossimo decennio).

3.4 Impatti sulle attività umane

Gli incidenti con animali (selvatici) rappresentano anche un importante aspetto di sicurezza stradale: un'indagine svizzera mostra che questa categoria rappresenta il 2% di tutti gli incidenti stradali.

Tra essi, nel 2-5% dei casi si verifica il ferimento di uno o più occupanti del veicolo, e nello 0,03-0,5% addirittura la morte di un passeggero. Danni gravi ai veicoli riguardano fino al 45% dei casi.

In Europa si verificano ogni anno 507.000 incidenti soltanto considerando gli ungulati, che provocano 300 morti, 30.000 feriti e 1 miliardo di Euro di materiale danneggiato.

Esiste una serie di valutazioni al riguardo effettuate in diversi Paesi europei, tra cui un costo sociale annuo di 42.375 milioni di Euro per la Svizzera, di 200 milioni di Euro in Germania e un totale di 862.179 Euro all'anno di materiale danneggiato per la Spagna.

La casistica italiana può essere rilevata dai dati ISTAT: nel periodo 1995-2000 sono stati denunciati 2083 incidenti stradali con animali, di cui 76 hanno provocato vittime. Per ciascun

incidente con un animale di taglia medio-grande si stima un costo medio al veicolo di 370-2.200 Euro.

Le conseguenze spiacevoli di queste collisioni non riguardano pertanto solo la tutela della biodiversità, ma anche gli interessi della società umana.

I danni sono consistenti quando la specie coinvolta ha una dimensione medio-grande (pari almeno alla taglia di un grosso cane) e quando la velocità del veicolo è elevata, ma si sono perfino registrati incidenti a causa di una manovra errata nel tentativo di schivare un animale, oppure motociclisti che sono scivolati sul manto stradale reso viscido dagli anfibi schiacciati sull'asfalto.

4 Analisi e zonizzazione

4.1 Criticità nei confronti della rete ecologica

4.1.1 Mappatura rete ecologica

La mappatura della rete ecologica permette di individuare l'assetto ecosistemico attuale e, conseguentemente, di rappresentare, anchecartograficamente, gli habitat utilizzabili dalla fauna selvatica, compresi i corridoi faunistici che le diverse specie utilizzano negli spostamenti, sia di tipo casuale (dispersione) che stagionale (migrazioni). Una rete ecologica è definibile come un'"infrastruttura naturale" che connette gli ambienti di un dato territorio, e pertanto composta dalle aree centrali (spesso coincidenti con zone protette), dalle zone cuscinetto, dai corridoi di connessione, e dai nodi.
Le reti ecologiche stanno diventando strumenti diffusi di pianificazione e gestione del territorio e del paesaggio, venendo via via sempre più inseriti negli strumenti di pianificazione del territorio (Piani Regolatori Comunali, Piani Territoriali di Coordinamento Provinciali), anche in linea con le Linee-guida APAT:

- Gestione delle aree di collegamento ecologico funzionale. Indirizzi e modalità operative per l'adeguamento degli strumenti di pianificazione del territorio in funzione della costruzione di reti ecologiche a scala locale.
- Reti ecologiche a scala locale. Lineamenti ed indicazioni generali.

4.1.2 Mappatura del tessuto antropico-infrastrutturale e delle "trasformazioni antropiche"

Si tratta in pratica dell'**illustrazione del processo insediativo dell'uomo**, o di colonizzazione umana del territorio, **effettuata tramite la notazione dei manufatti edilizi, delle infrastrutture viarie e delle principali zone agricole (prati, seminativi, frutteti, vigneti, oliveti).**
Lo sviluppo di questa elaborazione cartografica consente da un lato l'analisi storica del processo insediativo stesso, con indicazioni sul suo divenire, dagli inizi sino allo stato attuale, e dall'altro l'analisi dinamica o delle tendenze in atto, attraverso lo studio dei programmi di insediamento futuro, deducibili dai Piani Regolatori vigenti e dai vari strumenti di programmazione e pianificazione territoriale.
Nella stessa elaborazione cartografica altri importanti elementi di valutazione da inserire potrebbero essere quelli relativi alle funzioni dei manufatti individuati (residenziali, produttivi, turistici, agricoli, di servizio). Certamente tutte queste integrazioni porterebbero ad ampliare l'elaborato stesso e a trasformarlo in una serie di elaborati sovrapponibili, ma un accurato studio della restituzione grafica potrebbe mantenere l'unicità della carta (della mappatura) e la quantità di informazione.
L'indagine sul processo storico della colonizzazione umana del territorio, e quindi delle trasformazioni antropiche del paesaggio, dovuta ai cambiamenti delle economie, delle condizioni sociali e politiche, nonché alla cultura che da queste deriva e che da queste si genera, è uno dei riferimenti più importanti dell'analisi paesistica. In effetti in questa elaborazione cartografica vengono riportati tutti gli elementi che costituiscono un approfondimento indispensabile per la conoscenza del territorio (natura, architettura, rete infrastrutturale, ecc.) e in definitiva per la sua valutazione ai fini del corretto inserimento di un nuovo elemento che inevitabilmente dovrà entrare in contatto con un territorio e che pertanto dovrebbe dialogare con il contesto nel quale si inserisce.

Al fine di semplificare la comprensione dei contenuti presenti in questo tipo di elaborazione cartografica si possono individuare alcune voci che generalmente sono presenti in questa mappatura:

- edifici residenziali
- edifici industriali
- nuclei edificati
- case isolate
- centri e zone urbanizzate
- serre
- strade principali
- strade secondarie, sentieri
- terrazzamenti
- seminativo
- chiesa, chiesetta
- santuario
- albergo
- ruderi antichi
- viali alberati di pregio paesaggistico

uliveto
vigneto
frutteto
prato, pascolo
zona boscata
cava fluviale
discarica
mulino
palazzo storico
palazzo monumentale
fienili
ponte
monumento
campanili
torre
limonaia

E' importante sottolineare che ciascuna delle voci sopra citate, che già individua tratti salienti di un territorio, può essere approfondita riportando ulteriori informazioni in grado di fornire importanti spunti di riflessione sui caratteri di un luogo e sulle dinamiche evolutive in atto.
Ad esempio per le strade, oltre alla classificazione in principali e secondarie, può essere utile riportare alcuni caratteri salienti legati magari alla presenza di muretti a secco, o di opere di contenimento particolari; per i campi può essere molto interessante, oltre alla notazione spaziale delle specifiche coltivazioni, riportate l'orditura degli stessi che è poi il "disegno" del paesaggio agrario esaminato; per i sentieri e le strade può essere molto interessante riportare l'eventuale presenza di alberature di pregio che conferiscono al percorso un carattere di pregio.
Si tratta in definitiva di riportare sulla carta tutti gli elementi specifici del paesaggio percepito, frutto delle trasformazioni antropiche di un territorio, per cercare di capire quale è il contesto

nel quale un'opera si inserisce e, soprattutto, quali sono le eventuali conseguenze sulle sue dinamiche evolutive tanto di tipo antropico-culturali quanto di tipo ecologico.

4.1.3 Sovrapposizione reti ecologica & antropica: individuazione criticità reali e potenziali

Dalla sovrapposizione delle due mappe precedenti si possono individuare i punti dove esse si incontrano, ovvero dove le infrastrutture lineare interferiscono sulla rete ecologica, riducendone la permeabilità dei corridoi e/o arrecando disturbo o degrado all'ecosistema che la caratterizza.
Dopo aver individuato tali aree di interferenza, occorrerà "zoomare" su di esse per apprezzarne il grado e le caratteristiche degli impatti, per poi valutare (secondo le modalità degli studi di VIA – vedi Par.5.1) l'accettabilità ambientale di tale convivenza oppure la possibilità e il modo per la mitigazione.

4.2 Individuazione dei tratti infrastrutturali "a rischio incidentalità fauna"

4.2.1 Criteri generali

I dati da valutare per identificare le aggregazioni potenziali delle collisioni tra animali e veicoli sono:

- densità della popolazione umana
- grado di urbanizzazione
- indici di densità delle specie
- densità delle strade

Sono inoltre da considerare fattori fisici quali l'uso del suolo, la topografia e le caratteristiche delle strade.
Questi set di dati a scala multipla vanno incorporati nei GIS, per identificare le aree dove si possono concentrare gli incidenti stradali con gli animali.
I *map data layers* da analizzare includono torrenti, zone umide, uso del suolo, proprietà.
Il primo passo (anche rispetto all'uso di software GIS) è l'identificazione delle aree con habitat di "migliore" qualità, e quelle che ospitano la più ricca diversità di specie autoctone.
Prima fase: identificazione degli spazi aperti.
Seconda fase: individuazione ricchezza specie.
Importante disporre di carte della vegetazione.
Tramite i GIS si possono creare mappe derivate dalla vegetazione attuale che mostrano la distribuzione di anfibi, rettili, uccelli e mammiferi, individuando anche le aree importanti per singole specie o gruppi, e quelle ad elevata diversità biologica (ricchezza di specie).
Elementi importanti:

- corridoi ripariali
- laghi
- connessioni tra habitat isolati e sistema fluviale

Le stime per individuare quanto ambiente naturale è necessario per conservare e rappresentare adeguatamente la biodiversità di un comprensorio variano dal 32 al 99,7% dell'intera superficie, in base ai sistemi di calcolo usati ed alle caratteristiche dell'area.

4.2.2 Indicatori principali

Per conseguire una corretta localizzazione delle opere di mitigazione, e per ottimizzare l'intero processo anche in funzione del contenimento dell'impegno economico, è indispensabile acquisire una serie di elementi utili.

Nel caso di nuove progettazioni, è necessario individuare a priori i corridoi faunistici, nell'ambito della rete ecologica locale.
Le opere di attraversamento faunistico dell'infrastruttura andranno posizionate in corrispondenza dei tratti dove l'infrastruttura interseca i corridoi faunisitici, dimensionandole in base alla specie target individuata.
Per quanto riguarda le strade già in esercizio, la prima fase da compiere è uno studio sulla mortalità stradale della fauna selvatica vertebrata ("road mortality").
Tale ricerca deve essere svolta da esperti faunisti, e dovrebbe solitamente svilupparsi lungo un intero ciclo annuale, secondo una metodologia standardizzata.
Sulla base del suddetto studio vengono individuati i "tratti a rischio", in corrispondenza dei tratti stradali dove si concentra il maggior numero degli incidenti stradali con gli animali.
Questi tratti sono quelli dove necessita la realizzazione degli interventi di mitigazione, in base alla specie o ai gruppi di specie coinvolti di volta in volta.
Situazioni e ambienti particolarmente vocati alla presenza di fauna selvatica:

- ambienti suburbani (case sparse con giardini, orti, siepi)
- margini dei boschi
- torrenti e corsi d'acqua
- aree protette

Periodi del giorno e dell'anno maggiormente a rischio:

- alba e crepuscolo
- stagioni di particolare attività degli animali (migrazioni primaverili e autunnali degli uccelli, accoppiamenti dei mammiferi in autunno, migrazioni primaverili notturne dei Rospi, soprattutto in giornate piovose)

Situazioni infrastrutturali in cui si verifica la maggior parte di incidenti con animali selvatici:

- tratti con un numero medio di curve
- sezioni stradali a mezza costa ed a livello
- volume di traffico medio (2500-10.000 veicoli/giorno)
- strade prive di terrapieni ai lati alti almeno 3 metri (per gli uccelli)

Negli studi sulla mortalità stradale della fauna selvatica vertebrata lungo strade già in esercizio è preferibile effettuare i sopralluoghi al mattino presto, almeno una volta alla settimana, lungo un intero ciclo annuale.
Se la situazione lo permette, il mezzo migliore da utilizzare è la bicicletta (o il motorino) rispetto all'auto, dalla quale si tralascia fino al 97% delle vittime.
La velocità non dovrà comunque superare 20 km/h.
Oltre alla compilazione di una scheda per ogni reperto, è necessario annotare sulla cartografia 1:5000 l'esatta posizione lungo il tracciato stradale.
Considerando che molti animali vanno a morire negli ambienti circostanti, che altri vengono mangiati da predatori e "spazzini" quali Volpi, Gazze e Cornacchie, e che gli animali di piccola dimensione possono essere schiacciati dai veicoli fino a risultare irriconoscibili, il numero effettivo di vittime si può estrapolare moltiplicando per un fattore da 2 a 5 i reperti individuati.
Per ottenere una conoscenza faunistica di base è utile consultare gli "Atlanti biologici", disponibili sia a livello nazionale (es. uccelli) che su scala regionale e locale (mammiferi, anfibi e rettili).
E' utile acquisire dati sugli incidenti con animali anche attraverso le amministrazioni pubbliche (Polizia Provinciale, Corpo Forestale, Polizia Stradale), anche se in questo caso le informazioni raccolte riguarderanno quasi esclusivamente gli animali di grossa taglia (Ungulati) in grado di provocare danni al veicolo in caso di collisione.

4.2.3 Esempio di scheda di rilevamento incidenti

La seguente è un esempio di scheda per il rilevamento dei dati ad uso di professionisti, mentre per raccogliere dati analoghi attraverso il coinvolgimento degli automobilisti è opportuno proporre una scheda molto semplificata.

INDAGINE MORTALITÀ STRADALE FAUNA SELVATICA

Rilevatore ____

Data ____________________ Ora _______

Specie coinvolta ________________________________ Sesso _____ Età _________

Località ____ Provincia ________

Strada ______________________________ km ___________

Tipo strada: autostrada ( ) superstrada ( ) statale ( ) provinciale ( ) altro _________

Condizioni meteo (°C, copertura cielo, ecc.): ____________________________________

Condizioni animale

morto di recente (entro 24h) ( )
morto da oltre 24h ( )
ferito ( )
cadavere rimosso da strada ( )

Posizione dell'animale

centro strada ( )
corsia ( )
banchina ( )

Veicolo coinvolto ____________________________________

Danni riportati (veicolo/occupanti) ____

Ambiente circostante al luogo dell'incidente (entro un raggio di circa 100 m):
urbano ( ) rurale ( ) forestale/margine ( ) forestale/interno ( ) altro _______________

Elementi presenti (entro un raggio di circa 50 m):

albero/i ______________________________ ( )
siepe/arbusti __________________________ ( )
linea elettrica/telefonica ( )
ponte/cavalcavia ( )
fiume ( )
canale/torrente ( )
case/edifici ( )
giardini ( )
altro ____

Margini strada	dx	sn
muro	( )	( )
recinzione	( )	( )
guard-rail	( )	( )
"new jersey"	( )	( )

Sezione stradale   Note

in trincea ( )
in rilevato ( )
mezza costa ( )
semi-trincea ( )
semi-rilevato ( )
a livello ( )

4.2.4 Mappaggio dei punti di conflitto

Lo scopo della cartografazione dei punti di conflitto è la localizzazione dei punti o dei tratti stradali dove la viabilità esistente entra in conflitto con la rete ecologica. Al tempo stesso possono essere ricavate informazioni su come migliorare le strutture di mitigazione eventualmente già esistenti, e su dove posizionarne altre.
Alcune strutture di attraversamento già esistenti possono essere adattate per migliorare la loro fruibilità da parte della fauna selvatica.
I dati principali da cartografare sono:

- tratti stradali ad elevata concentrazione di incidenti con animali selvatici ("punti neri" o "punti focali di attraversamento")
- sovrappassi (attraversamenti superiori) o sottopassi (attraversamenti inferiori) esistenti, per scopi veicolari, idraulici, ricreativi o agricoli.

4.2.5 Zonizzazione rispetto al rischio di incidentalità

Sulla base dei rilievi di campo (vedi Par. 4.2.5) effettuati con l'ausilio di cartografia 1:5000 e con eventuale georeferenzazione e uso di GIS, le strade oggetto dello studio devono essere suddivise in tratti a diverso rischio:

- la categoria I (rischio basso) individua i tratti dove in genere non avvengono incidenti, e quindi non sono necessarie misure di mitigazione;
- la categoria II (rischio medio) individua tratti dove gli incidenti si verificano saltuariamente, ed in cui possono essere prese in considerazione alcune misure di mitigazione;
- la categoria III (rischio alto) individua tratti lunghi in genere 200-300 metri dove si concentra un gran numero di incidenti (superiori a 5/anno). Questi tratti stradali critici vengono definiti "punti neri" o "punti focali di attraversamento". In questi tratti esiste un concreto problema di sicurezza stradale e di impatto sulla biodiversità, pertanto gli interventi di mitigazione sono obbligatori.

Processo di analisi faunistica

ANALISI	AZIONI	RISULTATI
Identificazione della rete ecologica	Acquisizione documenti esistenti Ricerche specifiche per colmare lacune conoscitive	Conoscenza della rete ecologica locale interessata dalle infrastrutture viarie Analisi del valore ecologico dei diversi elementi
Studio locale	Assemblaggio delle conoscenze locali sulla fauna Indagine sull'uso del suolo Censimenti faunistici	Validazione e completamento dei dati sulla rete ecologica dal punto di vista qualitativo (corridoi e zone-riserva), quantitativo e funzionale Identificazione dei biotopi e delle specie sensibili
Localizzazione dei punti di conflitto	Sovrapposizione della carta della rete ecologica con il tracciato stradale Identificazione dei punti di conflitto Analisi degli incidenti stradali	Identificazione degli impatti Proposte di modifica del tracciato, in caso di impatti rilevanti
Analisi della permeabilità	Analisi delle misure di mitigazione per la fauna che tengono conto delle caratteristiche dell'infrastruttura (es. passaggi non specifici)	Stima della permeabilità dell'infrastruttura Utilizzo ottimale dei passaggi non specifici per ripristinare i corridoi faunistici Scelte per realizzare passaggi specifici per la fauna
Concezione della rete ecologica futura	Sintesi delle analisi precedenti Confronto tra la carta della rete ecologica e la cartografia degli strumenti di pianificazione locali Analisi dell'evoluzione a lungo termine della rete ecologica in relazione allo sviluppo urbanistico, agricolo e delle infrastrutture di trasporto	Garanzia di una visione globale sulle interazioni tra fauna e traffico Identificazione delle misure di protezione e definizione del loro impiego e integrazione nel paesaggio Implementazione di misure di protezione a lungo termine Definizione delle priorità di una strategia di conservazione a scala regionale Considerazione dell'evoluzione futura della rete ecologica a scala regionale

4.3 Raccolta documentazione e dati integrativi sul campo

La raccolta delle informazioni necessarie può richiedere sia indagini originali, sia l'acquisizione di dati già raccolti da altri ricercatori, che in taluni casi possono essere stati già pubblicati nella letteratura specializzata. Il percorso migliore da seguire è dapprima raccogliere le informazioni già disponibili (nel capitolo 10 figurano alcuni suggerimenti utili in tal senso), e poi decidere per campagne di approfondimento, verifica e/o aggiornamento delle informazioni.
Tempistica necessaria per gli studi di base: a volte il lasso di tempo destinato alla ricerca sul campo è limitato, oppure il richiedente fissa tempi di consegna non compatibili con l'effettuazione di studi adeguati (ad esempio se siamo in inverno non è possibile censire gli anfibi, oppure gli uccelli nidificanti).
In casi del genere ci si deve perlopiù affidare a supporti bibliografici, ad informazioni già raccolte da altri ricercatori, ed alla valutazione delle potenzialità offerte dagli habitat.
Utilizzando fonti bibliografiche occorre porre attenzione alla data in cui sono state effettuate le indagini sul campo, poiché negli anni la distribuzione e consistenza delle popolazioni animali e vegetali può cambiare anche considerevolmente.

5 Valutazione e indirizzo alle scelte

5.1 Valutazione della compatibilità ambientale

5.1.1 Valutazione preventiva

Una corretta progettazione infrastrutturale deve tendere a ridurre al minimo gli impatti negativi sugli ecosistemi.
Il primo sforzo deve essere rivolto alla prevenzione degli impatti ("*avoidance*"), che implica anche la presa in considerazione dell'"opzione zero", vale a dire l'annullamento dell'intero progetto. In seconda istanza comporta la scelta del tracciato migliore, al fine di non impattare le situazioni ed i territori ecologicamente più fragili e importanti.
Cercando di individuare il miglior tracciato possibile, attraverso un corretto inserimento ambientale dell'infrastruttura, si minimizzano i conflitti e si riduce l'esigenza delle misure di mitigazione e compensazione. Come sempre, la prevenzione è preferibile alla cura.
Procedura che deve condizionare il processo decisionale:

- applicazione della VAS e VIA
- i tracciati devono evitare le aree protette ai sensi delle Direttive EU
- considerazione del territorio vasto, e relazioni con la rete ecologica
- necessità di uno stretto dialogo e collaborazione tra le competenze ingegneristiche e quelle ecologiche
- esigenza di coinvolgere la cittadinanza

La VAS, in accordo con la Direttiva 2001/42/EC del Parlamento e Consiglio Europeo del 27 Giugno 2001 richiede agli Stati membri che tutti i nuovi piani e programmi regionali vengano sottoposti a VAS, e che le considerazioni ambientali vengano analizzate nello sviluppo delle politiche di pianificazione. La VAS costituisce una fase antecedente il livello progettuale da sottoporre a VIA.
Tutti i principali progetti, inclusa la realizzazione di infrastrutture viarie, devono essere sottoposti a VIA in accordo con la Direttiva del Consiglio Europeo 97/11/EC del 3 Marzo 1997.
Ogni VIA riguarda un singolo progetto, per assicurare una valutazione dettagliata degli effetti ambientali positivi e negativi rispetto ad una serie di possibili soluzioni alternative.
A seguito di questa fase (*scoping*) vengono delineate raccomandazioni per mitigare e compensare gli impatti ambientali negativi.
LA VIA deve comprendere la valutazione ambientale anche rispetto allo "scenario zero", vale a dire una ipotetica futura situazione che non prevede la realizzazione del progetto.
La VIA costituisce un documento di base attraverso l'intero processo progettuale, ed anche uno strumento di comunicazione.
Una VIA deve valutare tutti i fattori ambientali, inclusi gli effetti fisici e chimici sugli ecosistemi, il paesaggio, la flora e la fauna, considerando anche gli effetti cumulati e le interazioni rispetto ai diversi scenari.

5.1.2 Criteri per lo Screening

Punti da considerare nella costruzione delle infrastrutture:

- attenzione agli aspetti ecologici e paesaggisitici
- implementare le procedure per l'acquisizione dei terreni necessari per gli interventi di mitigazione e compensazione
- utilizzare tecniche e materiali compatibili ed ecologici

- monitorare e documentare tutte le fasi
- informare e coinvolgere la cittadinanza e le organizzazioni locali

Una buona pianificazione territoriale costituisce uno strumento potente per ridurre la frammentazione ambientale che si può produrre nel futuro quale conseguenza delle attività umane.

Nel 6° Programma di Azione Ambientale la Comunità Europea incoraggia l'uso degli strumenti di pianificazione quale sistema per migliorare la protezione ambientale e conseguire uno sviluppo regionale sostenibile.

L'obiettivo della pianificazione spaziale è l'organizzazione delle funzioni e degli spazi così da ottenere la maggiore relazione reciproca, sviluppando il potenziale umano insieme a quello naturale. Un'attenta conoscenza dell'ecologia dei luoghi è necessaria se si desidera pianificare in maniera sostenibile.

Nella VIA, che è attualmente lo strumento più importante per evitare la frammentazione degli habitat in Europa, viene promosso il concetto precauzionale a partire dalle prime fasi del progetto.

La frammentazione degli habitat causata dalle infrastrutture di trasporto, soprattutto se condiziona la rete ecologica Europea Natura 2000, deve essere evitata se si desidera usufruire dei finanziamenti Europei: questo è stato sottolineato chiaramente dal Commissario Europeo alle Politiche Regionali e per l'Ambiente, e possono esserci dei procedimenti contro i Paesi membri che disattendono queste indicazioni, che possono portare ad abbandonare il progetto.

A livello di EU, la rete ecologica Europea Natura 2000 utilizza le Direttive "Uccelli" e "Habitat" per individuare le Zone di Protezione Speciale (ZPS) e le Zone Speciali di Conservazione (ZSC). Molti Paesi Europei hanno sviluppato delle proprie reti ecologiche per includere la conservazione della biodiversità nella pianificazione territoriale, e per garantire il collegamento tra i siti della rete ecologica Natura 2000.

Modelli e indicatori sono strumenti importanti per la pianificazione su ampia scala delle infrastrutture di trasporto, e sono utili per monitorare i trend attuali e valutare i diversi scenari futuri.

Le tre funzioni di base di un indicatore sono: semplificazione, quantificazione, comunicazione

In alcuni Paesi Europei sono stati adottati indicatori per la frammentazione degli habitat, e l'Agenzia Europea per l'Ambiente ha intrapreso questo lavoro a scala continentale (EEA, 2000).

Alcuni indicatori usati in Europa.

- Densità delle infrastrutture
- Distanza tra le infrastrutture
- Assenza di disturbo (distanza dagli insediamenti umani più vicini)
- Numero di intersezioni tra rete infrastrutturale e corridoi ecologici
- Percentuale di corridoi faunistici interrotti
- Ampiezza e numero di parcelle con o senza infrastrutture
- Percentuale di territorio coperto da infrastrutture
- Numero di Zone di Protezione Speciale o siti Ramsar con infrastrutture poste entro 5 km dal loro centro

Idealmente, un buon indicatore della frammentazione degli habitat dovrebbe considerare:

- ampiezza delle parcelle
- qualità delle parcelle
- collocamento delle intersezioni
- vulnerabilità delle parcelle

- grado di connettività tra le parcelle

La densità delle infrastrutture è un indicatore utile per effettuare comparazione tra i vari Paesi: essa esprime il grado di frammentazione fisica del territorio, sebbene non considera la matrice naturale su cui è sovrapposto il reticolo infrastrutturale.
Si deve infine tenere presente che esiste una discreta variabilità tra le specie rispetto alla sensibilità al grado di frammentazione, che dipende dalla mobilità, il comportamento e le necessità di habitat. Occorre quindi individuare specie target e considerare le differenze che possono esistere tra le diverse categorie di specie.
Esistono diversi approcci in base alla fase del processo progettuale. Occorre innanzi tutto individuare i punti di conflitto esistenti e potenziali tra rete ecologica e rete infrastrutturale.
La frammentazione degli habitat può essere ridotta sia nella progettazione di nuove infrastrutture di trasporto, che nell'adeguamento di viabilità già esistente.
La Valutazione Ambientale Strategica (VAS) di piani e programmi, e la Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) dei progetti, in accordo con le Direttive EU, assicura che:

- le considerazioni ambientali vengano prese fin dalle prime fasi;
- il pubblico (enti locali, *stakeholders*, NGOs, ecc.) venga coinvolto rispetto al progetto, con la possibilità di influenzarlo prima della decisione finale.

Per quanto riguarda le strutture esistenti, si può verificare la situazione in cui le misure di mitigazione non erano state contemplate al momento della costruzione, e pertanto si possono avere una serie di impatti che colpiscono l'area. Ciò può richiedere nuove valutazioni.
Infine, se il progettista evita da subito le zone di maggior valore ecologico, oltre a garantire un minore impatto ambientale previene futuri conflitti con le comunità locali, le organizzazioni ambientaliste, ecc.

5.1.3 Criteri per la valutazione d'impatto

Occorre un approccio analitico condotto da un esperto in materia ecologica, che abbia padronanza di biologia della conservazione.
La VIA è un processo iterativo, che segue le seguenti fasi:

- definizione dell'area di studio
- ricerche sul campo per individuare le caratteristiche naturali (*survey*)
- valutazione dei possibili conflitti e dei rischi di frammentazione
- discussione tra progettisti, pianificatori, architetti e ambientalisti
- definizione di nuovi tracciati e indagini supplementari
- selezione delle alternative da considerare nel processo di VIA
- progettazione delle misure di mitigazione e compensazione

L'area di studio può avere una dimensione nazionale, regionale o locale, e comunque deve essere molto più ampia dello stretto corridoio interessato dall'asse viario.
Ai fini di un'analisi generale della frammentazione sono utili cartografie alla scala 1:250.000 o 1:100.000, mentre per analisi di dettaglio carte o foto aeree alla scala 1:25.000 o 1:10.000.
La scelta della scala è cruciale: essa deve essere in grado di rappresentare chiaramente le informazioni rilevanti, e per garantire ciò è importante anche una opportuna scelta della simbologia.
Tutti i *layers* delle informazioni spaziali riguardanti l'ambiente e le infrastrutture devono essere mappati, possibilmente tramite GIS. E' necessario includere i punti di conflitto con gli ecosistemi, le rotte seguite dalla fauna, il paesaggio, le attività ricreative.
Ciascuna opzione di tracciato deve essere rappresentata cartograficamente, illustrando gli impatti e la sensibilità dell'area:

- collocazione degli habitat su entrambi i lati, inclusi quelli isolati e di piccole dimensioni
- dimensioni delle popolazioni faunistiche su entrambi i lati (quelle piccole e isolate sono sempre vulnerabili)
- distribuzione e spaziatura tra i frammenti di habitat
- corridoi di migrazione e dispersione esistenti, incluse le connessioni ecologiche e paesaggistiche, che possono essere costituite anche da elementi non naturali
- potenziale per il ripristino degli habitat
- effetto barriera dell'infrastruttura su piccoli biotopi quali stagni per anfibi
- effetto barriera dell'infrastruttura rispetto all'accesso del pubblico ed alle aree ricreative.

Infrastrutture esistenti

Al contrario delle infrastrutture di progetto, non esistono sufficienti strumenti normativi per risolvere il problema della frammentazione causato dalle infrastrutture già esistenti.

Ciò nonostante, attraverso la Direttiva Habitat gli Stati membri sono obbligati a intraprendere le "*misure necessarie per assicurare che le catture o uccisioni accidentali non abbiano un impatto negativo*" sulle specie dell'allegato IV lettera a). Questo include la mortalità stradale, e pertanto la Direttiva è rilevante rispetto alla viabilità esistente: se l'uccisione non intenzionale ha un effetto negativo, devono essere assunte misure di conservazione.

L'adeguamento di infrastrutture già esistenti può richiedere un processo di VIA analogo a quello necessario per realizzare un nuovo progetto.

5.2 Screening territoriale

5.2.1 Pianificazione

Non è opportuno lasciare alle singole progettazioni la risoluzione del problema dell'interferenza sulla rete ecologica, sia perché il progetto non può valutare la scala vasta, sia perché c'è disomogeneità quali-quantitativa sul modo di affrontare il problema e le soluzioni.

Occorre quindi, ovviamente, realizzare un quadro pianificatorio che orienti le scelte di localizzazione e progettazione, creando strumenti e azioni, come quelle proposte nel Cap.9, che permettano di mettere a punto e aggiornare i piani.

Le azioni pianificatorie possono prioritariamente individuare le aree incompatibili, cioè dove le infrastrutture stradali non possono convivere con l'ecosistema presente.

Nel seguito, per semplicità, abbiamo ipotizzato una zonizzazione delle aree più o meno potenzialmente compatibili, raggruppandole in funzione prevalentemente del grado di qualità e vulnerabilità ambientale, in modo da introdurre il concetto di screening localizzativo preventivo a diversi gradi, per il quale la pianificazione assume un ruolo fondamentale.

5.2.2 Delocalizzazione, gestione

Nel caso di opere esistenti e di impossibilità o insufficienza della mitigazione, ciò può comportare anche l'esigenza di dismissione e delocalizzazione, oppure può essere sufficiente programmare modalità di gestione compatibili o una chiusura temporanea dell'esercizio (p.es. di strade nel periodo della migrazione degli anfibi).

La dismissione può anche prevedere la riconversione del tracciato (stradale o ferroviario) ad uso della viabilità pedonale, oppure quale piste ciclabili, in un contesto di *greenways*.

5.2.3 Dove NON costruire (vincoli rigidi)

Le aree dove qualsiasi infrastruttura stradale importante è incompatibile con l'ambiente sono quelle che presentano un alto livello di qualità paesaggistico-ambientale o vulnerabilità o elementi di particolare pregio e rarità.

Una prima classificazione, che può essere condotta soprattutto su basi cartografiche e bibliografiche, riguarda l'individuazione delle aree protette (parchi nazionali, parchi regionali, riserve, oasi ed altre aree protette) e del sistema della rete ecologica "Natura 2000" formata dalle ZCS (Zone Speciali di Conservazione, individuate come SIC - Siti di Importanza Comunitaria - ai sensi della "Direttiva Habitat"), e dalle ZPS (Zone di Protezione Speciale per gli uccelli, individuate ai sensi della "Direttiva Uccelli"). A tal riguardo è importante considerare anche la rete delle "IBA" (Aree Importanti per gli uccelli) individuate da BirdLife International (per l'Italia dalla LIPU) e destinate ad essere designate come ZPS. Tutte queste aree non devono essere attraversate dai tracciati dei nuovi progetti.

Altre aree non classificate fra quelle sopra dovrebbero essere individuate in sede pianificatoria da parte degli enti territoriali preposti (p.es. le province in sede di redazione o aggiornamento del PTC o i comuni nei piani strutturali), oppure durante la fase di valutazione preventiva degli impatti applicata a varianti localizzative, o, nel caso di assenza delle valutazioni precedenti, nel corso degli studi di supporto alla progettazione (p.es. studio di prefattibilità ambientale).

5.2.4 Dove evitare possibilmente

In molti territori, in Italia, ci troviamo di fronte a situazioni caratterizzate da buona qualità paesaggistico-ambientale e da modesta antropizzazione, pur con qualche compromissione dell'integrità ecologica. Spesso c'è potenzialità e tendenza al recupero anche completo della naturalità e quindi, dal punto di vista ambientale, sarebbe opportuno evitare di introdurre nuovi impatti operando invece per accelerare i processi di recupero con interventi di risanamento e riqualificazione.
In questi casi la convivenza con infrastrutture stradali deve essere quindi valutata attentamente e, nel caso si verifichi la compatibilità generale, limitando il passaggio del tracciato allocandolo al di fuori dalle zone di maggior pregio ecologico.
Inoltre, si dovrà provvedere a predisporre e attuare un monitoraggio attento ed eventuali interventi di correzione e mitigazione in fase di cantiere e di esercizio.
Nell'individuazione preventiva di queste aree è ancora più importante il ruolo degli enti territoriali competenti nella pianificazione e il monitoraggio.
Specie in queste situazioni risultano importanti gli interventi di compensazione ambientale (vedi Par.6.5)

5.3 Scelta "ottimale"

5.3.1 Alternative localizzative (di tracciato)

Dopo la prima fase di sceening, che consiste nell'esclusione, dell'opera o di parte di essa, dalla localizzazione delle aree ad alta valenza ambientale, occorre perseguire una ottimizzazione del tracciato agli effetti dell'impatto sulla biodiversità.
Va condotta una valutazione d'impatto preventiva all'avvio della fase progettuale, applicata alle alternative d'intervento (di localizzazione e di progetto), adottando metodologie di analisi comparativa di tipo multicriterio o multiobiettivo. Occorre pertando individuare e definire gli

indicatori che riguardano l'ecosistema e, sulla base delle caratteristiche di qualità ambientale, fissare dei pesi d'importanza rispetto a ciascun indicatore.
In generale, rispetto alle diverse alternative di tracciato, si devono prendere in considerazione le seguenti questioni:

- la frammentazione deve essere evitata, in particolare nelle aree di interesse prioritario alla conservazione della biodiversità, ed in quelle non ancora soggette alla frammentazione;
- deve essere mantenuta la funzionalità dei corridoi faunistici, usati per gli spostamenti, la dispersione e le migrazioni: si devono considerare in particolare fiumi, torrenti ed altri corsi d'acqua, boschi ripariali, siepi e filari di alberi;
- i rilievi (colline, montagne, vallate) possono fornire opportunità al fine di diminuire l'effetto barriera dell'infrastruttura;
- le nuove vie di comunicazione devono essere poste preferenzialmente nei corridoi infrastrutturali, vale a dire in quelle zone già soggette ad urbanizzazione e industrializzazione, al fine di evitare la frammentazione di ambienti poco disturbati;
- deve essere preservata la continuità paesaggistica di elementi quali vallate fluviali, coste e crinali;

5.3.2 Dove è compatibile, con mitigazioni

Dove c'è contemporaneità fra qualità ecologica non elevata e impatti ambientali non molto alti e sufficientemente mitigabili.
In questi casi andranno particolarmente curati la valutazione d'impatto e la concezione delle misure di mitigazione e monitoraggio.
Valgono le altre considerazioni esposte nel Par.5.2.4.

5.3.3 Dove è compatibile senza problemi, e magari vantaggiosa

Dove l'ecosistema e il paesaggio presenta modesta qualità e magari è già compromesso dal tessuto antropico-infrastrutturale esistente e da diverse forme di degrado, la realizzazione di una nuova infrastruttura stradale di solito è compatibile, pur ovviamente con le necessarie mitigazioni e previa valutazione d'impatto. In questi casi sono quasi sempre prevalenti gli effetti sulla salute o sul sistema socio-economico, rispetto a quelli nei confronti della natura.
Va tenuto però presente che in ambienti densamente antropizzati i pochi ambienti rimasti non compromessi rappresentano corridoi ecologici o rifugi indispensabili alla fauna. E' pertanto necessario individuarli e caratterizzarli con precisione, provvedendo ad adottare misure per il loro mantenimento o, possibilmente, miglioramento.
In molti di questi casi, la realizzazione dell'opera e il relativo investimento possono dar luogo addirittura a opportunità per il miglioramento ambientale, provvedendo agli interventi di miglioramento suddetti e di compensazione ambientale e sociale (p.e. la creazione di nuovi corridoi ecologici, zone umide, microhabitat, aree bonificate).
Occorre adottare, sin dalle prime fasi di analisi di localizzazione, un processo di negoziazione e collaborazione fra il proponente, gli enti pubblici competenti e le rappresentanze dei portatori di interessi sul territorio, con particolare riferimento agli uffici e associazioni che si occupano di ambiente naturale.
L'allineamento di più infrastrutture (es. la costruzione di una nuova autostrada a fianco di una strada o di una ferrovia già esistente) da un lato è vantaggiosa perché si crea una sola barriera, sebbene questa risulterà complessivamente più ampia da superare.

5.3.4 Alternative progettuali

Una volta definito il tracciato in funzione del minimo impatto ambientale, sempre nella stessa ottica vanno individuate le soluzioni progettuali appropriate e le misure di mitigazione.
Alternative progettuali sono, in particolare, tipologie di manufatti tali da consentire o migliorare la permeabilità ecologica e ridurre il disturbo alla fauna; per es.: tratti in viadotto anziché in rilevato, opportune sistemazione naturalistiche di corsi d'acqua e scarpate, collocazione di fasce boscate e siepi, creazione di aree umide, ovviamente specifici passaggi o inibizioni per fauna, ecc.
Anche sulle alternative progettuali occorre applicare un'analisi multicriterio, da svolgersi contestualmente alla fase di localizzazione, in modo da ottimizzare le soluzioni progettuali rispetto ai diversi obiettivi. L'esigenza di permeabilità faunistica è comunque imprescindibile e si deve perseguire almeno un minimo risultato sulla base delle esigenze individuate da piani o studi specifici.

6 Il progetto stradale a minimo impatto sulla fauna

6.1 Criteri generali

Dopo aver verificato la compatibilità ecologica della localizzazione progettuale (tramite la procedura illustrata nei capitoli precedenti), si deve cercare di mitigare gli impatti ("*mitigation*") che non si possono evitare. La mitigazione, in altre parole, è un'azione finalizzata a ridurre al minimo gli effetti ambientali negativi provocati dall'infrastruttura. La sezione tecnica del presente manuale descrive nello specifico gli interventi di mitigazione rivolti principalmente alla fauna selvatica.
Il terzo passo è la compensazione degli impatti residui ("*compensation*") che non è stato possibile ne evitare ne mitigare: con la compensazione ambientale si cerca di non perdere la funzionalità complessiva dell'ambiente ("*no net loss*"), e può essere ad esempio indirizzata alla realizzazione di nuovi ambienti naturali aventi caratteristiche equipollenti a quelle alterate (distrutte o danneggiate) a causa della realizzazione della nuova infrastruttura. Ripristini e miglioramenti ecosistemici, rinaturazioni e rinaturalizzazioni sono tipici interventi di compensazione ambientale.
Una progettazione corretta deve prendere in considerazione una serie di misure integrate e coordinate, da inserire in maniera pianificata già a partire dalle prime fasi progettuali, attraverso il coinvolgimento delle professionalità di volta in volta necessarie. In questo modo si produce una maggiore efficacia e si abbattono i costi.
L'approccio progettuale è molto diverso a seconda si tratti di nuova viabilità o viabilità esistente.
Occorre quindi distinguere fra le grandi realizzazioni *ex novo* (nuove arterie stradali, nuovi cavalcavia, nuovi svincoli a quadrifoglio) ed i piccoli interventi di miglioramento della viabilità esistente (realizzazione di rotatorie, raddrizzamento di curve, allargamento della sede stradale).
Nel primo caso l'inserimento nel paesaggio di nuove strade deve essere valutato in fase di scelta di tracciato, o di progettazione preliminare lungo tutto il suo corso. La progettazione tenderà a realizzare le opere che provocano gli impatti minori, evitando di modificare o distruggere le aree con peculiarità ecologiche e paesaggistiche.
È quindi necessario prevedere un piano di intervento riguardante le infrastrutture viarie già esistenti ed in esercizio, al fine di un loro miglioramento, per assicurare una loro maggiore permeabilità.
INFRASTRUTTURE VIARIE IN PROGETTO= inserimento preventivo misure di mitigazione e compensazione ambientale.
INFRASTRUTTURE VIARIE IN ESERCIZIO= interventi di miglioramento ambientale per assicurare una maggiore permeabilità e deframmentare il territorio.
E' necessario considerare attentamente se l'intervento riguarda strade o autostrade: a parte le differenze evidenti, quali le dimensioni ed il livello di utilizzo, esistono notevoli variazioni ad esempio rispetto agli interscambi ed alle strutture associate: le autostrade hanno raggi e pendenze minime, sono recintate e l'accesso è ristretto solo ad alcuni veicoli motorizzati, gli svincoli sono in genere illuminati. Le zone all'interno degli svincoli (aree intercluse) da una parte possono essere sfruttate naturalisticamente ed ecologicamente, ad esempio piantandovi alberi e favorendo le fioriture spontanee, ma esse possono anche rappresentare delle trappole ecologiche per gli animali.

Le stazioni di servizio costituiscono parte integrante delle autostrade: per limitare il consumo di territorio è utile abbinare le stazioni di servizio ai depositi e magazzini per la manutenzione.
Al contrario, le strade statali e quelle secondarie possono avere pendenze variabili, un maggior numero di incroci ed in genere non sono recintate. Le strutture di servizio spesso formano parte integrante delle aree urbane che vengono attraversate.
Un altro elemento di fondamentale importanza per assicurare una corretta riuscita degli interventi è stabilire gruppi misti e interdisciplinari, dove devono sempre figurare le due professionalità chiave, vale a dire il progettista da una parte (ingegnere, architetto) e l'esperto in materia ecologica e faunistica dall'altro.
Anche la tempistica con cui si eseguono i lavori assume un ruolo importante per determinare un maggiore o minore impatto. In particolare è necessario evitare di compiere le operazioni che riguardano le principali trasformazioni degli habitat e della vegetazione nei periodi più delicati della vita degli animali, quali la nidificazione degli uccelli che avviene nei mesi primaverili.
Deve infine essere considerato il livello cui si opera di volta in volta, vale a dire una scala regionale, di paesaggio oppure puntuale.

6.2 Principi per la progettazione delle strade

I seguenti sono criteri da applicare alla progettazione delle infrastrutture di trasporto allo scopo di conservare la biodiversità, l'ambiente naturale e culturale, il paesaggio, e le opportunità di ricreazione all'aperto, allorquando la costruzione delle strade impatta sugli ambienti.

6.2.1 <u>Principi per una progettazione stradale "environmentally-friendly"</u>

1. Il progettista ha la principale responsabilità di considerare le tematiche ambientali. La preoccupazione per gli assetti naturali deve essere valutata sullo stesso piano degli aspetti tecnici e finanziari.
2. La progettazione si deve basare su di una buona conoscenza della natura e degli ecosistemi. Gli inventari delle aree protette non sono sufficienti, ed è compito degli esperti valutare scientificamente le conseguenze delle diverse alternative. La cooperazione con gli specialisti fin dall'inizio del processo è un prerequisito per un buon risultato ambientale.
3. Occorre un'analisi ed una valutazione dell'intera area interessata dalla strada, in quanto i lavori condizionano l'ambiente naturale e culturale, il paesaggio e le opportunità ricreative su di un'area molto più vasta rispetto a quella coperta direttamente dalla strada. E' quindi necessario valutare le conseguenze per tratti sufficientemente lunghi e su aree più ampie di quelle soggette direttamente ai lavori dell'infrastruttura.
4. E' necessario evitare di disturbare e passare attraverso ambienti significativi. La divisione e la frammentazione portano alla perdita di funzioni per l'ambiente naturale e culturale. Le aree rimanenti devono mantenere una forma ed una superficie che le rendono ancora ecologicamente funzionali.
5. Occorre proteggere le rotte di migrazione degli animali, così come le opportunità per i pesci di nuotare liberamente e le connessioni nelle aree di aperta campagna. Le connessioni ecologiche che si sono evolute su di un lungo periodo di tempo e che sono

perfettamente adattate alle condizioni ed al paesaggio locale non possono essere ripristinate pienamente se danneggiate.

6. Il tracciato della strada si deve adattare all'ambiente naturale e culturale, al paesaggio ed alle opportunità ricreative all'aperto. Scegliere tracciato, standard, materiali e dettagli che salvaguardano gli assetti dell'ambiente circostante.
7. Usare misure di mitigazione se gli impatti indesiderati sono inevitabili.

I piani che non prendono in considerazione le esigenze ambientali devono essere rivisti.
L'ambiente che non è stato ancora frammentato da costruzioni *man-made* quali strade, ferrovie e impianti idroelettrici viene classificata come "non disturbato" dallo sviluppo tecnologico. Queste zone mantengono tratti estesi dove piante e animali vivono con le loro relazioni ecologiche e senza un grande influsso da parte dell'uomo.

Per salvaguardarle è necessario prendere in particolare considerazione:

- Ampiezza. Le aree vaste e non disturbate possono contenere ecomosaici che interagiscono tra loro formando un'entità. Questo, insieme alle connessioni vitali tra gli ecosistemi, vengono distrutti se le aree risultano divise. Le specie che necessitano di territori vasti e non interrotti vi sopravvivono in numero sufficiente a supportare la variazione genetica, necessaria per essere in grado di adattarsi in una certa misura alle variazioni ambientali. Molti degli animali che vivono in questi ambienti hanno pure la necessità di spostarsi su lunghe distanze per trovare le migliori situazioni per l'alimentazione nelle diverse stagioni dell'anno. Se queste aree vengono ridotte di superficie o frammentate, gli animali sono costretti in piccoli territori, aumentando la pressione del pascolo.
- Presenza all'interno di "*core areas*" ed altre zone importanti, quali aree protette, habitat rari, aree importanti per animali e piante, paesaggio, monumenti storici e ambienti culturali. In particolare la protezione delle *core areas* crea l'opportunità per le specie "specialiste" che richiedono habitat non disturbati e scarsamente frequentati dalle persone.
- Necessità di evitare l'impianto di attività e strutture lungo il tracciato stradale. L'incremento del traffico, e le costruzioni e le attività supplementari come stazioni di servizio, piazzole di sosta, piazzali di servizio, uffici turisitici, motel, ecc. seguono spesso la realizzazione di un nuovo tracciato stradale. Queste strutture, che portano disturbo ad aree precedentemente meno disturbate, possono avere impatti importanti alla pari del traffico stradale. Queste problematiche possono essere chiarite insieme alle amministrazioni locali, e le decisioni relative alla pianificazione territoriale possono aiutare a limitare gli effetti indesiderati.

6.2.2 <u>Indirizzi per una progettazione che prende in considerazione zone estese e non interrotte di paesaggio</u>

1. Evitare la divisione e il disturbo delle aree estese e non interrotte di paesaggio
2. Se il disturbo in tali aree è inevitabile, il tracciato della strada deve essere situato il più lontano possibile dalle *core areas* e dalle altre aree che sono altamente vulnerabili e di maggior significato ecologico
3. Chiedere la consulenza di specialisti per la valutazione delle caratteristiche delle diverse aree, considerando cosa deve essere preso in esame e le proposte per le possibili misure per alleviare i conflitti
4. Usare misure che riducono l'effetto barriera della strada nei confronti di piante e animali. Includere queste misure quali corridoi e attraversamenti faunistici nella fase di progettazione. Le misure assunte successivamente hanno maggiori complicazioni

5. Nella cooperazione con le amministrazioni locali, limitare l'ampiezza ed il numero delle costruzioni e attività connesse con la strada, quali piazzole di sosta, aree di parcheggio, servizi turistici, ecc.
6. Se la strada deve essere sgombrata dalla neve in inverno, non lasciarla accumulata in modo che diventi una barriera agli spostamenti degli animali.

6.2.3 Strade che interessano zone umide

Le zone umide hanno un gran numero di qualità:

- ricca varietà di vegetazione
- ricchezza di uccelli e insetti
- habitat per molte specie di animali
- corridoi di dispersione per gli animali
- scambio di sostanze nutritive tra ambiente terrestre ed acquatico
- cibo, rifugio e riparo per i pesci
- opportunità per i pesci di spostarsi negli affluenti
- filtro per l'inquinamento
- limitazione dell'erosione da parte della vegetazione
- funzione di contenimento delle piene da parte della vegetazione
- elemento paesaggistico
- opportunità ricreativa

Per salvaguardare l'assetto delle zone umide, tre caratteristiche di esse devono essere considerate:

- ampiezza
- continuità
- vegetazione

Otto buone regole per progettare strade che non distruggano le zone umide:

1. Disporre le strade il più lontano possibile dalle zone umide, considerando la loro ampiezza
2. Prendere in esame la continuità delle zone umide su vasta scala, tenendo presenti le rotte di migrazione degli uccelli e quelle dei pesci
3. Proteggere il più possibile la vegetazione ripariale
4. Realizzare ponti per scavalcare fiumi e torrenti
5. Allineare la strada adattandola alla conformazione della zona umida e del paesaggio
6. Prendere in considerazione la possibilità di ripristinare la vegetazione quando vengono usati esplosivi, disegnando le scarpate e muri di sostegno. Piantare vegetazione autoctona nelle scarpate
7. Evitare di costruire banchinamenti nell'acqua
8. Occasionalmente può essere possibile costruire una nuova sponda oltre la strada, se le condizioni ideologiche e l'erosione lo permette.

6.2.4 Strade che interessano il paesaggio agricolo

1. Il progetto deve basarsi sull'analisi del paesaggio dell'intera area condizionata dalla strada
2. Salvaguardare l'integrità e la continuità del paesaggio culturale, delle coltivazioni tradizionali, degli elementi culturali e naturali
3. Scegliere un tracciato che segua la conformazione del territorio e del paesaggio

4. Piantare vegetazione autoctona e elementi (es. muri) conformi con le caratteristiche del paesaggio locale

6.2.5 Strade presso aree urbanizzate

Per quanto riguarda la progettazione di infrastrutture viarie in aree urbanizzate, è necessario tenere presente che l'uso degli spazi verdi e delle altre aree ricreative da parte dei cittadini dipende essenzialmente dal livello di accessibilità. L'accesso deve pertanto essere garantito sia attraverso il trasporto pubblico che tramite una rete (*network*) di sentieri e piste ciclabili che collegano le aree verdi (*greenways*). Sono anche necessari parcheggi per auto presso le aree verdi. Le ricerche hanno infatti mostrato che chi frequenta le aree verdi preferisce averle a disposizione a breve distanza da casa.
La presenza delle strade può creare dei problemi, e pertanto occorre valutare le situazioni dove possono emergere interessi conflittuali, collocando la strada nelle aree dove il conflitto è minore.
A causa dello sviluppo urbanistico e agricolo, le principali vie di comunicazione possono essere progettate all'interno o lungo i margini delle aree ricreative.
Una tangenziale, con il suo traffico intenso e veloce, agisce da barriera visiva e fisica tra le aree di aperta campagna e quelle verdi e coloro che desiderano raggiungerle o comunque goderne la presenza. Se non vengono realizzati punti di attraversamento sicuri e attraenti presso le aree verdi, si possono avere una o più delle seguenti conseguenze negative:

- l'accessibilità risulterà più difficile
- l'area verrà usata in misura minore
- le categorie più sfavorite (es. portatori di handicap) avranno difficoltà a fruire l'area
- si potranno creare dei punti di attraversamento pericolosi
- le auto verranno usate quale principale mezzo per raggiungerle

E' già stato ricordato che una strada che attraversa o penetra un'area provoca una serie di impatti (disturbo, inquinamento, rumore, ecc.) su di una superficie ben più ampia di quella realmente occupata: questo può essere definito "effetto puntura". Diversamente se la strada fiancheggia o costeggia solamente l'area si può parlare di un "effetto tangenziale".
Sei buone regole per progettare strade in aree urbanizzate:

1. Il traffico non deve transitare nel cuore delle aree verdi
2. Evitare di progettare strade lungo aree verdi o semi-naturali
3. Porre particolare attenzione alle qualità dell'area interessata ed ai suoi dintorni
4. Salvaguardare i punti di accesso alle aree verdi ed a quelle ricreative, rendendoli attraenti. Rimpiazzare quelli eventualmente danneggiati
5. Tutelare i punti di contatto tra le aree verdi ed il sistema di trasporto pubblico
6. Prendere in considerazione futuri progetti di ulteriore urbanizzazione, pianificando le vie di accesso (soprattutto pedonali e ciclabili) e di collegamento tra le aree residenziali, i servizi, le aree verdi e quelle ricreative.

6.2.6 Strade che attraversano aree verdi

Se il progetto riguarda direttamente un'area verde, deve essere considerata la continuità, la forma ed il suo contenuto.
La continuità riguarda il complesso (rete) degli spazi verdi, che costituisce un sistema vitale sia quale via di comunicazione per i cittadini (= concetto delle *greenways*) che per gli animali e le piante (= concetto di rete ecologica e dei corridoi faunistici).
Occorre ricordare in questo contesto la necessità di garantire un contatto permanente e quotidiano tra cittadini di tutte le età ed il mondo naturale, che deve essere rappresentato in

particolare da un'elevata biodiversità di specie vegetali ed animali di origine autoctona (Turner et al., 2004).
Un corridoio ampio almeno 60 metri fornisce un rifugio agli animali migratori e assicura un habitat per le piante.
Anche la forma dell'area verde assume un significato per le specie che vi abitano, in quanto a parità di superficie una di forma stretta ed allungata offre meno protezione ma al contrario può funzionare meglio per gli spostamenti. Considerando che ciascuna specie di pianta o animale ha delle proprie necessità rispetto alla riproduzione, all'alimentazione, al rifugio ed alla dispersione, in linea generale occorre sapere che:
le aree più estese offrono maggiori opportunità ad un numero maggiore di specie
le aree compatte offrono opportunità sia alle specie che vivono negli ambienti di transizione (ecotoni) che a quelle che preferiscono la porzione interna dell'habitat (*core area*).
Il contenuto e la qualità dell'area verde è importante sia per gli organismi biologici che rispetto alla percezione che riguarda i fruitori.
Una varietà di situazioni e di micro-habitat permette lo sviluppo della massima biodiversità offrendo maggiori possibilità alle piante ed agli animali di sopravvivere nel contesto urbano (Dinetti, 2000).

Sei buone regole per progettare strade presso aree verdi:

1. Acquisire le necessarie informazioni presso gli enti territoriali, ed in particolare presso gli uffici al verde ed ai giadini pubblici
2. Coordinare il sistema dei sentieri e delle piste ciclabili con la rete sia esistente che di progetto del sistema dei trasporti che riguarda e connette le aree verdi
3. Salvaguardare e potenziare i collegamenti con la rete delle aree verdi. Porre come priorità la realizzazione dei collegamenti che sono mancanti o carenti
4. Assicurare che le aree verdi risultino ben collegate con strutture importanti quali scuole, aree commerciali, zone ricreative e sportive, spazi aperti di campagna periurbana e con i trasporti pubblici
5. Mantenere gli elementi individuali nell'area verde, e considerare l'ampiezza, la forma e le qualità che risultano utili per animali, piante e cittadini. Evitare il più possibile di modificare l'area verde, e assicurarsi la consulenza di esperti nel campo naturalistico
6. Assumere uno standard per i sentieri pedonali e le piste ciclabili compatibile con le caratteristiche dell'ambiente naturale e culturale circostante.

Checklist per assistere i progettisti stradali a considerare il tema della biodiversità nel processo progettuale.

SI NO
Informazioni di base

- E' stato contattato il Ministero dell'Ambiente e gli Assessorati Ambiente delle amministrazioni locali già dalle prime fasi della progettazione?
- Sono state cercate tutte le fonti di informazioni sulle caratteristiche naturali dell'area?
- Sono state acquisite le informazioni sull'ambiente naturale e culturale ed il paesaggio che non sono disponibili presso il Ministero dell'Ambiente?
- Sono stati presi contatti con gli specialisti di ecologia e fauna per avere una consulenza specifica?

Cooperazione

- Sono stati seguiti i requisiti della normativa riguardo alla trasparenza delle informazioni, alla cooperazione e partecipazione del pubblico e degli *stakeholder*?
- E' stato stabilito un rapporto con il Ministero dell'Ambiente e gli altri enti competenti per ottenere il migliore risultato per l'ambiente naturale nella sfera di influenza della strada?
- Si è stabilità una cooperazione e assistenza anche oltre ciò che viene richiesto dalla legge?

Progettazione in aree di campagna in genere

- E' stata limitata la fascia di impatto della strada il collaborazione con gli enti competenti?
- Sono state valutate le conseguenze per gli habitat naturali ed il paesaggio nella fascia influenzata dalla strada?
- E' stato evitato al massimo di disturbare e frammentare le aree interessanti di campagna?
- Sono state salvaguardate le rotte di migrazione degli animali ed i corridoi faunistici, le caratteristiche ambientali necessarie ai pesci ed i corridoi tra gli ambienti della campagna?
- Sono state effettuate scelte compatibili con l'ambiente naturale ed il paesaggio ad ogni livello, dalla scelta del tracciato al design dei dettagli?
- Il tracciato della strada e tutte le costruzioni connesse sono state sottoposte ad una valutazione di corretto inserimento paesaggistico da parte di specialisti?
- Sono state valutate e presentate alternative appropriate per ridurre le conseguenze all'ambiente naturale ed al paesaggio?
- Sono stati avanzati suggerimenti nella proposta progettuale per misure di mitigazione degli impatti?
- E' stato spiegato nei documenti progettuali le conseguenze della strada per l'ambiente naturale ed il paesaggio?

Progettazione in aree estese e non interrotte di ambiente

- E' stata presa in considerazione la dimensione dell'area?
- E' stata considerata la *core area*?
- Sono state valutate le misure per impedire altre progettazioni lungo la strada, in collaborazione con gli enti locali?

Progettazione vicino a zone umide

- E' stata valutata l'ampiezza della zona umida?
- E' stata valutata la continuità della zona umida?
- E' stata valutata la vegetazione della zona umida?

Progettazione in ambienti agricoli

- Sono stati considerati i più importanti elementi di collegamento ecologico e la continuità ecosistemica?
- Sono stati presi in esame gli ambienti e gli elementi naturali?

Progettazione in aree ricreative vicino ad aree urbane

- Sono state considerate le dimensioni della zona?

- E’ stata valutata la qualità ambientale dell’area?
- Sono state considerate le possibilità di accesso per i pedoni e le biciclette, in un contesto di *greenways* per il collegamento con le aree verdi del comprensorio?

Progettazione in aree verdi urbane

- E’ stata considerata la continuità dell’area verde?
- E’ stata considerata la forma dell’area verde?
- Sono state considerate le caratteristiche naturali dell’area verde?

Conclusioni

- Si può considerare un buon progetto in relazione alle considerazioni che devono riguardare l’ambiente naturale ed il paesaggio?

Per concludere: sono stati considerati i vecchi progetti che non soddisfacevano i requisiti a beneficio dell’ambiente e del paesaggio?

Progetto

Note

Data

Firma

6.3 Mitigazione degli impatti sulla fauna

6.3.1 Criteri generali

La mitigazione della frammentazione ambientale provocata dalle infrastrutture di trasporto è un campo di conoscenze abbastanza nuovo, che coniuga ingegneria ed ecologia.
Le fasi da seguire per strade in fase di progetto:

- identificazione delle specie animali presenti e dei relativi corridoi faunistici;
- valutazione delle aree a elevata importanza e vulnerabilità e del conseguente grado di compatibilità con l’infrastruttura;
- localizzazione delle misure di mitigazione (in base alla rete ecologica locale e alle specie target);
- progettazione delle misure di mitigazione e compensazione;
- stesura degli specifici piani di manutenzione e monitoraggio;
- realizzazione degli interventi;
- gestione degli interventi;
- monitoraggio;
- eventuale progettazione e realizzazione di adeguamenti o integrazioni agli interventi.

Le fasi da seguire per strade in esercizio:

- analisi della permeabilità della strada;
- localizzazione dei tratti a rischio (studi sulla mortalità stradale della fauna);

- localizzazione delle misure di mitigazione (in base alla rete ecologica locale e alle specie target);
- progettazione delle misure di mitigazione e miglioramento ambientale;
- realizzazione degli interventi;
- gestione degli interventi;
- monitoraggio;
- eventuale progettazione e realizzazione di adeguamenti o integrazioni agli interventi.

Parametri per decidere dove sono necessarie misure di conservazione, mitigazione e compensazione:

- aree per la conservazione (habitat EU designati ai sensi delle Direttive Habitat e Uccelli, aree protette, parchi, siti Ramsar, ecc.)
- specie faunistiche rare e in pericolo (es. incluse in Liste Rosse)
- comunità vegetazionali rare e in pericolo
- vallate fluviali e zone umide
- paesaggi poco disturbati di valore naturalistico o culturale
- reti ecologiche
- corridoi di dispersione in aree già frammentate
- altri habitat importanti

6.3.2 Azioni per la mitigazione dell'impatto

Obiettivi:

- evitare la frammentazione del paesaggio e degli ecosistemi (deframmentazione)
- ridurre la mortalità della fauna selvatica in seguito a collisioni con veicoli e manufatti
- migliorare la sicurezza stradale degli utenti

Azioni primarie:

- evitare che animali e veicoli vengano a contatto: impedimento dell'accesso in carreggiata tramite installazione di specifiche recinzioni e barriere;
- aumentare le possibilità di attraversamento in "sicurezza", migliorando la "permeabilità" della strada rispetto alla fauna selvatica. Gli attraversamenti possono essere "inferiori" (tunnel, sottopassi, canali sotterranei, strada su viadotto) oppure "superiori" (ponti faunistici, ecodotti, ponti paesaggistici, ponti sospesi, strada in galleria).

Azioni secondarie:

- segnaletica (rivolta sia agli automobilisti che agli animali);
- sensibilizzazione degli automobilisti;
- messa in sicurezza di strutture "pericolose" per la fauna.

Il costo derivante dalla progettazione e realizzazione degli interventi di mitigazione per la fauna incide in misura modesta sui budget complessivi di un'infrastruttura viaria: mediamente attorno al 5%.

In Svizzera per eliminare i problemi dai 51 punti di conflitto individuati tra rete stradale e fauna selvatica fu valutato un costo di € 762.251. Per confronto, la realizzazione di 1 km di autostrada in area urbana costa oltre 3 milioni di EURO (dati 1999).

6.4 Tipologie di interventi mitigatori

6.4.1 Barriere e recinzioni

Le barriere hanno le seguenti funzioni:

- impedire l’accesso in carreggiata agli animali;
- indirizzare gli animali verso punti di attraversamento sicuro (es: attraversamenti faunistici, sponde di corsi d’acqua che sottopassano la strada, sotto viadotti, sopra gallerie);
- alzare la traiettoria di volo degli uccelli sopra ai veicoli in transito.

Considerando che esistono diverse tipologie di recinzione e di barriera, adatte a categorie faunistiche differenziate, è opportuno stabilire la specie o il gruppo di specie target verso cui si rivolge l’intervento.
Esiste anche la possibilità di predisporre recinzioni multistrato, a maglie differenziate in base all’altezza, per soddisfare un’esigenza mista (più specie).
L’esigenza di evitare collisioni tra veicoli e uccelli viene soddisfatta con la predisposizione di strutture alte almeno quanto il cassone di un camion:

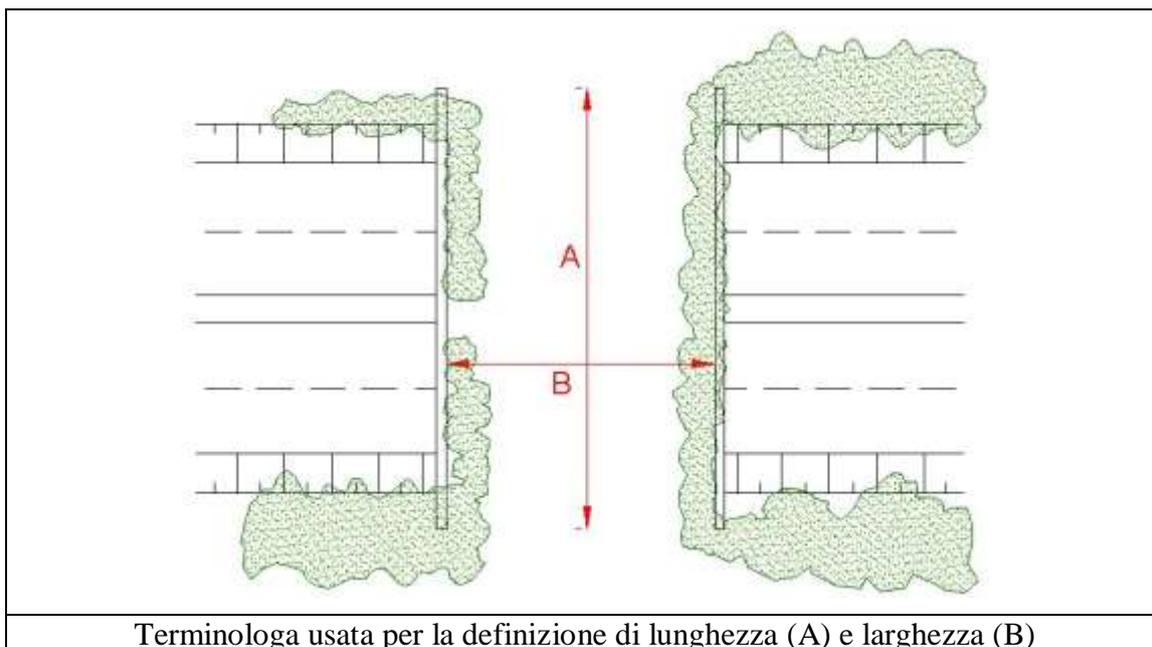
- pannelli fonoassorbenti in materiale opaco (legno, metallo, cemento, terrapieni)
- fasce vegetate di alberi e arbusti

Da evitare assolutamente l’uso di materiale trasparente (vetro, plexiglass, ecc.) in quanto non visibile da parte degli uccelli e pericoloso per le collisioni conseguenti.
Qualora l’uso del materiale trasparente risulti imprescindibile, andrà munito di appositi dispositivi “anticollisione volatili” (vedere scheda 4A).

6.4.2 Attraversamenti

Localizzazione degli attraversamenti

Gli attraversamenti faunistici devono essere posizionati nei tratti stradali critici (“punti neri” o “punti focali di attraversamento”) ad elevata mortalità faunistica, individuati sulla base di uno studio di “*road mortality*” (in caso di infrastruttura già esistente), oppure in base alla rete ecologica locale ed alle informazioni sulle presenze faunistiche.
I punti neri si collocano di solito in corrispondenza dei corridoi ecologici e dei corridoi faunistici, vale a dire dove la rete ecologica locale interseca la rete tecnologica (in corrispondenza di fiumi, torrenti, canali, siepi, filari alberati).
La scelta della tipologia di attraversamento (superiore o inferiore) dipende dalla morfologia del territorio e dal profilo della strada, dalle specie target che si desidera favorire e da considerazioni di tipo economico.
Esistono attraversamenti dedicati esclusivamente all’uso faunistico, ma anche la possibilità di adattamento di strutture che sarebbero state comunque realizzate (ad esempio ponticelli per superare corsi d’acqua), ed infine attraversamenti ad uso misto (antropico + faunistico).

Terminologa usata per la definizione di lunghezza (A) e larghezza (B)

Principali aspetti da considerare per la realizzazione di un attraversamento faunistico efficace:

- localizzazione in corrispondenza dei corridoi faunistici (rotte usate abitualmente negli spostamenti dagli animali);
- localizzazione presso habitat frequentati dagli animali;
- massima ampiezza (altezza e larghezza) e minore lunghezza possibile della struttura;
- ingressi “a imbuto”, raccordati alle barriere e recinzioni presenti lungo la strada;
- presso gli ingressi: presenza di vegetazione ricca (erbe spontanee, arbusti che producono bacche, alberi di essenze diverse) e di elementi che possono attirare gli animali (stagni, pozze d’acqua, ecc.);
- vegetazione e elementi naturali o seminaturali (siepi, filari di alberi, fossi, canali, ecc.), in grado di raccordare la struttura con gli habitat circostanti e la rete ecologica locale;
- sezioni a base orizzontale;
- presenza di terreno naturale sul fondo della struttura;
- schermatura del disturbo antropico (traffico) con staccionate di legno e siepi;
- cura attenta ai dettagli ambientali (arbusti, pozze d’acqua, ecc.), in particolare presso i punti di accesso;
- verificare l’inesistenza di fattori di disturbo presso i siti interessati dai passaggi;
- evitare possibilmente la promiscuità con usi antropici dello stesso passaggio.

6.5 Interventi di compensazione ambientale

La compensazione ambientale è lo strumento attraverso cui si cerca di rendere accettabile il bilancio degli impatti “compensando” gli impatti che non si è riusciti a prevenire e a mitigare, allo scopo di non perdere la funzionalità complessiva degli ecosistemi. Si tratta di una sorta di risarcimento nei confronti dell’ambiente.

Questa misura tende infatti a equilibrare il danno ecologico creando, ripristinando o migliorando gli habitat compromessi, e deve essere considerata l’ultima carta da giocare ai fini del miglior inserimento ambientale dell’infrastruttura viaria.

Si approfitta dell'investimento per realizzare un miglioramento ambientale in un ecosistema importante normalmente vicino a quella impattata.

In accordo con le Direttive Europee "Uccelli" e "Habitat", le misure di compensazione devono essere implementate prima dell'inizio dello sviluppo dell'infrastruttura.

Alla luce della complessità che presenta la trattazione di questo tema, in questo paragrafo si richiamano solamente alcuni concetti generali, rimandando alla letteratura specializzata i dettagli tecnici per la progettazione, realizzazione e gestione dei nuovi habitat.

Innanzitutto la compensazione ambientale si attua su terreni non necessariamente limitrofi all'infrastruttura viaria, e pertanto occorre disponibilità di terreno, che deve essere espropriato o acquistato nell'ambito della progettazione complessiva dell'infrastruttura.

Un intervento di compensazione ambientale può riguardare la realizzazione di zone umide (paludi, stagni "alternativi" per anfibi, ecc.), di boschi o siepi, ma occorre tenere presente che è particolarmente difficile ottenere habitat di qualità paragonabile a quelli che sono stati compromessi, e le esperienze internazionali mostrano il fallimento di molti tentativi in questo senso.

Per questa ragione si adotta il principio della sovracompensazione, vale a dire è necessario ripristinare una superficie di habitat pari ad almeno il doppio di quella occupata o comunque compromessa dalla realizzazione dell'infrastruttura.

Anche il trasloco in terreni distanti dall'infrastruttura di elementi che sarebbero stati distrutti (porzioni di terreno con erbe e fiori, trapianto di alberi) rientra negli interventi di compensazione ambientale.
Si può ripristinare la natura? Rimpiazzando un ecosistema con un sistema di nuovo impianto, si rischia di distruggere l'adattamento all'ambiente, e le condizioni locali in cui animali e piante possono avere impiegato migliaia di anni per svilupparsi.
Singoli elementi di un ecosistema possono per certi versi essere preservati quando si verifica un disturbo. Gli uccelli e gli altri animali possono sopportare il contatto con lo sviluppo tecnico e con gli esseri umani, trovando talvolta nuovi spazi nelle vicinanze oppure abitando le aree ripristinate.
Ma la parte principale di un ecosistema originario, che consiste di specie più vulnerabili di piante ed animali, inclusi microrganismi, funghi, licheni e insetti, sarà di difficile – se non impossibile - ripristino. Se o no il ripristino è possibile dipende dalla natura e dalle condizioni dell'area in questione.
Un esempio significativo di compensazione applicato alle strade è la realizzazione di passaggi per fauna, oltre che nell'ambito della nuova opera (mitigazione), presso la restante viabilità esistente sul territorio.

Il costo delle misure di compensazione ambientale è a carico del proponente l'opera.

6.6 Indirizzi progettuali (Schede Tecniche)

In allegato alla presente relazione si riportano una serie di schede, suddivise in una tavola grafica e una descrittiva per ciascun caso, che rappresentano tipologie costruttive relative agli interventi più significativi di mitigazione e compensazione ambientale degli impatti strade-fauna. Si riporta di seguito un elenco di tali interventi:

7 Gestione e Monitoraggio

7.1 Manutenzione degli interventi

Gli interventi finalizzati alla mitigazione degli impatti nei confronti della biodiversità, e in particolar modo quelli per la gestione della fauna presso le infrastrutture stradali, per assolvere adeguatamente alla loro funzione devono mantenere le funzionalità concepite in sede progettuale. Infatti, questi interventi, a differenza di altri interventi di mitigazione, che in molti casi possono evolvere autonomamente (p.e. i rinverdimenti e le opere di ingegneria naturalistica), possono anche non funzionano affatto qualora cambiassero la geometria o si degradassero anche parzialmente.

In sede progettuale deve quindi essere sviluppato un dettagliato piano di manutenzione che preveda modalità e tempi di controllo e gestione per ogni tipologia di opera, tenendone presenti gli obiettivi.

I piani di gestione/manutenzione devono tener conto di un lasso di tempo normalmente di 20-30 anni dalla realizzazione degli interventi.

Le operazioni gestionali previste si suddividono in:

1. manutenzione ordinaria, che comporta il controllo dello stato di efficienza dell'opera, eventuali modeste riparazioni e, soprattutto, la manutenzione della vegetazione ove necessaria;
2. manutenzione straordinaria, che consiste negli interventi di rifacimento e ristrutturazione (totale o parziale), da attuarsi nel caso di danni gravi dovuti a eventi esterni eccezionali o a invecchiamento dell'opera stessa (p.e.: occlusione di canali e passaggi, degrado di materiali, crollo di strutture);
3. revisione dell'opera, in relazione alla verifica della non ottimale rispondenza del progetto alle attese, e consiste nella modifica o sostituzione con altra tecnica qualora il monitoraggio della sua prestazione (vedi prossimo paragrafo) ne dimostrasse l'inefficienza.

In tutti i casi è preferibile realizzare misure durevoli che richiedono poca manutenzione, e questo sia per evitare successivi interventi che possono disturbare la fauna, sia per ridurre le spese di manutenzione.

7.2 Monitoraggio e taratura azioni

Una volta costruite le misure di mitigazione, è importante verificare se esse vengono effettivamente utilizzate dagli animali, in modo particolare dalle specie target, nella misura stimata in sede progettuale.

E' pertanto necessario rispondere in particolare alle seguenti domande: ciò che è stato costruito risponde effettivamente ai motivi che lo hanno reso necessario? Quali sono le specie utilizzatrici? Qual è l'influsso degli ambienti circostanti? Gli attraversamenti vengono usati solo dagli animali in fase di dispersione oppure anche dai residenti?
Inoltre, occorre verificare lo stato di conservazione ed efficienza delle opere (usura, danneggiamento, degrado) in modo da supportarne la manutenzione.

Per rispondere a queste esigenze sono necessarie azioni di monitoraggio, opportunamente concepite già in fase di progettazione.

Esistono diverse tecniche, ciascuna più adatta a determinate tipologie di attraversamento faunistico:

- per piccoli attraversamenti, come tunnel e passaggi sotto ponti e canali sotterranei, risponde bene il metodo "inchiostro": occorre fissare su una tavola un tampone inchiostrante e alcuni fogli, che possono essere introdotti nel tunnel per 1,5-2 metri, allo scopo di registrare le impronte delle zampe degli animali in transito;
- una variante è una striscia di sabbia o argilla all'ingresso del tunnel;
- quando il metodo "inchiostro" non può essere usato, oppure è necessario documentare anche il comportamento degli animali, si ricorre a un sistema di registrazione video automatico (telecamera a infrarossi con videoregistratore e sensori che percepiscono la presenza degli animali); questo sistema funziona bene con i mammiferi e può avere un'autonomia di una settimana; se posizionato davanti a un piccolo attraversamento faunistico è in grado di registrare tutte le specie, mentre presso un attraversamento di grandi dimensioni, quale un ecodotto, registrerà in particolare i grossi mammiferi.

Al fine di ridurre gli effetti delle variazioni annuali dei parametri delle comunità animali, la durata ottimale dei monitoraggi finalizzati alla taratura degli interventi deve essere almeno di 4 anni, mentre la verifica di manutenzione deve accompagnare la vita dell'opera complessiva.

Gli errori eventualmente commessi devono poi essere divulgati affinché tutti coloro che sono preposti alla progettazione e gestione migliorino nel futuro le realizzazioni e non ripetano gli sbagli già commessi da altri.

8 Applicazioni dei GIS e dell'informatica alla *road ecology*

8.1 Criteri Generali. Stato dell'arte della tecnologia GIS-SIT.

Dal punto di vista operativo, le analisi ambientali, tra le quali vi sono le tecniche di individuazione delle reti ecologiche, trovano nei Sistemi GIS (Geographical Information Systems) lo strumento più idoneo di implementazione.
Il calcolo e la quali-quantificazione della frammentazione e l'individuazione delle connettività degli ecosistemi implicano, infatti, la gestione di una grossa mole dati territoriali precisi quanto a localizzazione (georeferenziati) ed aggiornati.

GIS è l'acronimo inglese di Geographical Information System (letteralmente Sistema Informativo Geografico), definizione anglosassone di quello che, in Italia, viene più comunemente e in maniera non proprio corretta chiamato Sistema Informativo Territoriale (SIT).
Si tratta di un sistema informativo capace di acquisire, analizzare e rappresentare dati ed informazioni di tipo geografico, ovvero dati riferiti al territorio.
Spesso, in Italia, si parla indifferentemente di GIS e di SIT come se le due definizioni coincidessero; in realtà le due definizioni non sono affatto equivalenti, nella misura in cui la prima (GIS) fa esplicito riferimento alla rappresentazione geografica di informazioni, mentre la seconda (SIT), facendo riferimento al territorio, potrebbe anche prescindere dall' aspetto meramente cartografico. Dal punto di vista dell'ingegneria informatica, GIS è un termine che indica una tecnologia, SIT è un prodotto ben specifico realizzato a partire dalla tecnologia GIS.

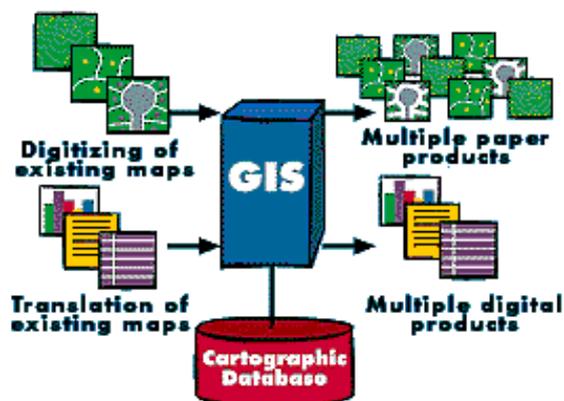
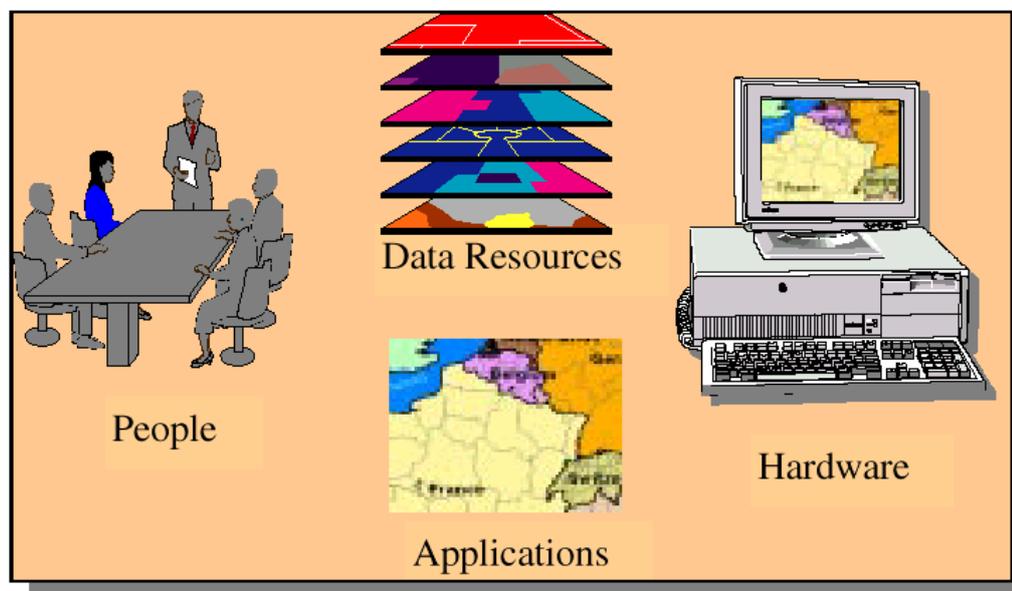



Figura 8.1. Struttura dei flussi di dati in un GIS (Fonte: ESRI)

Un GIS è, essenzialmente, uno strumento di gestione di database basati sul modello geo-relazionale, cioè di database idonei a trattare dati georeferenziati, ossia dati che hanno un attributo posizionale esplicito (quale ad esempio, le coordinate in un sistema di riferimento geodetico/cartografico) e dati georelazionabili, dati che hanno un attributo collegabile ad un entità georeferenziata (ad esempio un indirizzo postale è collegabile alla posizione geografica di un edificio). Proprio perché opera con dati che hanno una dimensione geografica, il GIS è dotato di interfacce grafiche ottimizzate per la rappresentazione cartografica. Il linguaggio di interrogazione delle banche dati (SQL) è ampliato con funzionalità relative alla dimensione spaziale del dato (query spaziali: ad es. "quale entità si trova a x metri dall'entità selezionata?" oppure "la feature x è interna alla feature y?").

In Figura 8.1 possiamo esaminare alcuni flussi di dati tipici di un GIS. A sinistra vediamo i flussi di creazione dei dati e popolamento del database geografico. I dati possono essere prodotti per digitalizzazione a partire da cartografie cartacee o per trasformazione di formato digitale a partire da cartografie numeriche esistenti. I flussi di destra sono gli output del GIS: reportistica cartografica tradizionale o informatizzata e dati (cartografie numeriche e database tabellari).

Il GIS non è solo un software con le caratteristiche che abbiamo appena esplicitato, ma è un sistema le cui componenti sono riportate in Figura 8.2.

Nel complesso l'intera informatica è ormai rivolta ad una comunità di utenti assai vasta e il concetto di scalabilità caratterizza l'offerta di tecnologie GIS a misura di utente (Figura 8.3).

Con riferimento alla "piramide degli utenti" di Figura 8.3, esaminiamo l'offerta tecnologica in relazione alle tipologie di utenti.
Al vertice della piramide vi sono i produttori professionali di dati geotopocartografici o "Doers". Si tratta di enti pubblici della Pubblica Amministrazione Centrale (quali gli Enti Cartografici di Stato, il Ministero della Difesa, il Ministero dell'Ambiente, ecc.), della PA decentrata e locale (Regioni, Province, Grandi Comuni) e società industriali di cartografia e dati geografici (il cui spettro di prodotti va dagli atlanti cartacei ai grafi stradali per i sistemi di car navigation). A questo livello la tecnologia è decisamente costosa (da diverse decine di migliaia di euro a centinaia di migliaia di euro) e richiede personale tecnico altamente specializzato.
Il livello intermedio – gli "Users" – è costituito da tecnici di settore (pianificatori, geologi, urbanisti, forestali, ingegneri ambientali, ma anche sociologi, esperti in geomarketing, in statistica sanitaria, ecc.) che usano il GIS nell'ambito delle loro competenze disciplinari principalmente come strumento di analisi dei dati e, comunque, sono in grado di produrre dati a bassa complessità. Questo livello di tecnologia è anche noto come Desktop GIS, ha costi dell'ordine delle poche migliaia di euro e richiede tecnici con una formazione specifica.
Vi è, infine, il grande segmento dei "consumatori di informazione geografica": i "Viewers". È un insieme di utenti in continua espansione e va dai Decisori (pubblici o privati) per i quali il

GIS è Strumento di Supporto alle Decisioni, ai naviganti di Internet che consultano nei browser, senza dover compare alcun software, cartografie GIS dei tipi più svariati (portali cartografici delle PPAA, portali turistici, siti di società immobiliari, ecc.), agli escursionisti che usano terminali palmari integrati con i GPS, agli automobilisti che consultano i navigatori satellitari. Il costo di queste tecnologie è differenziato. L'utente Internet paga il costo di connessione, mentre il costo delle tecnologie WEB-GIS lato server (che può arrivare al centinaio di migliaia di euro) è a carico del realizzatore del sito. Un analogo discorso vale per il Decisore. Sui gadget tecnologici che sfruttano tecnologia GIS embedded, invece, i costi sono determinati dalla diffusione dei prodotti, ma sono decisamente accessibili ovvero sono marginali rispetto al costo di un bene nel quale sono inseriti come componenti (si pensi ai navigatori satellitari per le auto).

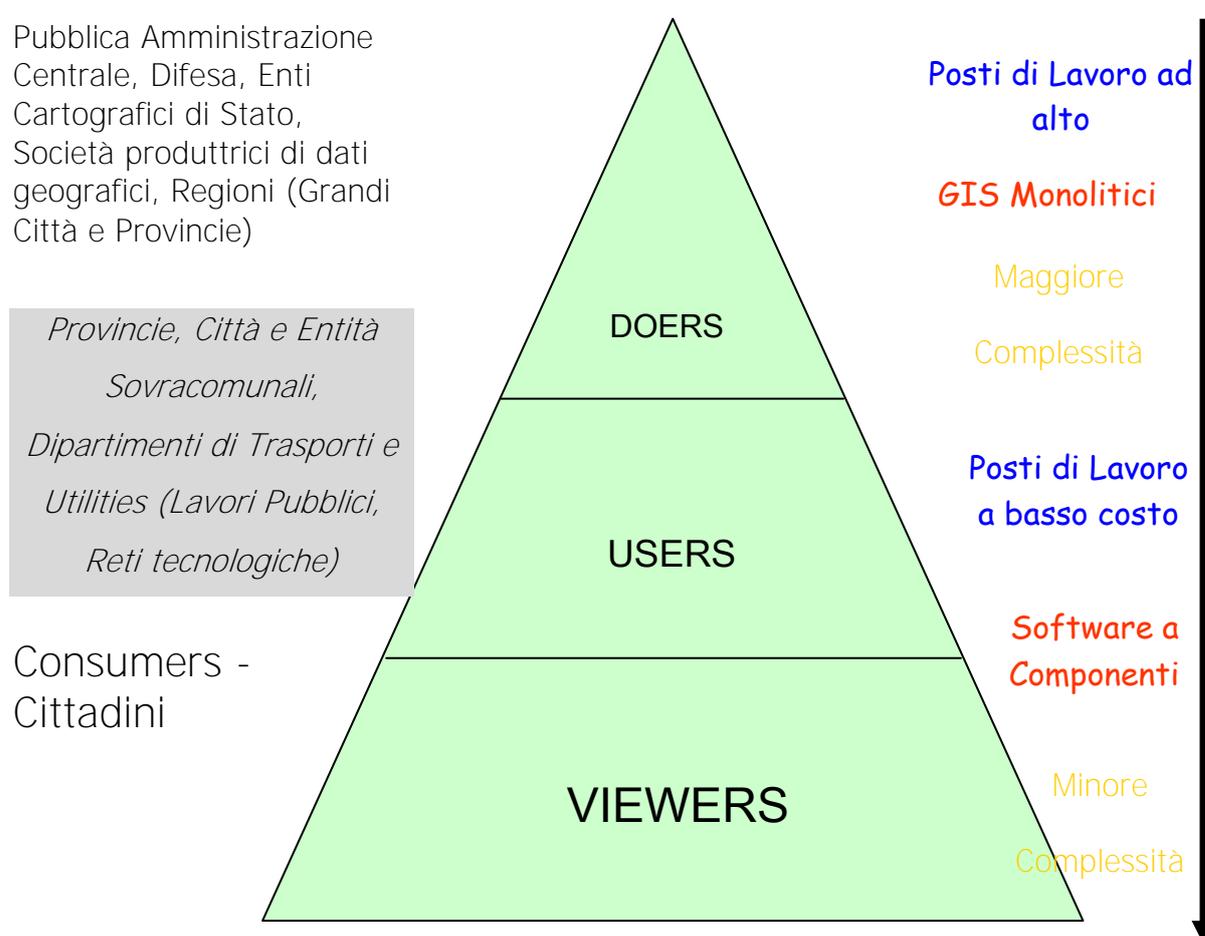



Figura 8.3. La piramide della scalabità dell'offerta GIS (Fonte: Intergraph)

Un aspetto importante ed in via di risoluzione, sia tecnica che normativa, è quello dell'interoperabilità tra dati prodotti/forniti mediante tecnologie GIS eterogenee tra di loro.
L'esigenza, sentita per primi dai militari, di condividere o meglio interscambiare i dati trovò una sua prima risposta nei "formati neutri". L'idea era di trovare un formato intermedio, di specifica condivisa e pubblica, verso il quale e dal quale convertire i dati nei vari formati proprietari. Ed ecco, allora, affermarsi i vari Digest, ESRI E00, …

La soluzione, però, era poco soddisfacente. Il formato neutro era un formato fisico che poteva difficilmente tener conto dei diversi schemi concettuali alla base dei formati proprietari. E, di conseguenza, le conversioni avvenivano con perdite considerevoli di contenuto informativo.
Successivamente venne creato un gruppo di lavoro misto (civile e militare), che giunse a formulare una specifica per il geoprocessing distribuito in un ambiente di rete (Open Geodata Interoperability Specification) e, il 25 agosto 1994, divenne un consorzio not-for-profit: era nato l'Open Geospatial Consortium (OGC).
Oggi l'Open Geospatial Consortium conta oltre 250 membri tra i quali ricordiamo le agenzie governative nordamericane, le principali software house GIS (ESRI, Intergraph, PCI, SICAD ecc), NASA, Microsoft, SUN Microsystems, Oracle Corporation, Northrop-Grumman, EUROGI (European Umbrella Organization for Geographical Information), …
OGC opera in stretto contatto con il comitato ISO TC 211 e con OMG, cioè con gli enti di standardizzazione, rispettivamente, de-jure e del mondo industriale, formalizzando standard di interoperabilità per i dati geografici - adottati nei software GIS commerciali e open source - e partecipando a progetti "infrastrutturali" con lo U.S. Federal Geographic Data Committee e con il Joint Research Center dell'Unione Europea.
Un altro fattore che ha favorito l'interoperabilità dei dati geografici è Internet grazie all'interoperabilità "di base" della Rete data dal paradigma dei web services. Le applicazioni che operano in Internet utilizzano delle "interfacce" e dei protocolli che garantiscono l'interazione tra sistemi informaticamente assai eterogenei tra loro.

Gli standard OGC relativi ai web services GIS sono quelli a maggior "impatto" per la diffusione delle informazioni territoriali.

Gli standard OGC WMS (ISO 19128)[1], WFS[2] e WCS[3] (in corso di consolidamento) e WTS[3] (in fase di sviluppo) consentono a software GIS eterogenei di condividere dati attraverso la rete senza che questi siano fisicamente spostati dal server che li ospita Un terzo elemento, e cioè il web service di catalogo, permette agli utenti internet di conoscere quali nodi offrono sorgenti di dati e quali nodi offrono servizi di elaborazione on line sugli stessi.

Perché i web services di catalogo possano funzionare efficacemente è necessario che chi decide di condividere un dato geografico documenti esaustivamente la sua banca dati in una modalità standardizzata e che pubblichi i metadati mediante un Catalog Service. Gli standard ISO 19115 e ISO 19139 si occupano delle specifiche per la metadocumentazione dell'informazione geografica.

I web services GIS OGC consentono, dunque, sia di visualizzare i dati geografici attraverso un normale browser che implementa un viewer geografico OGC, sia di poter sfruttare i dati nei software GIS commerciali o open source purché dotati di un "connettore OGC": l'utente vede i dati come se fossero in un computer remoto, li può utilizzare come basi cartografiche (data streaming), ma non li può copiare fisicamente sul suo terminale.

---

1 Il Web Map Server è un web service che consente di condividere l'informazione geografica mediante un formato raster standardizzato con dati tabellari incapsulati e, quindi, interrogabili
2 Il Web Feature Server è un web service che consente di condividere l'informazione geografica mediante dati vettoriali "virtuali". Il WFS consente operazioni di data entry sul client GIS dotato di "connettore standard", attraverso il web, con possibilità di "aggancio" (snapping) sulle features condivise.
3 Il Web Coverage Server ed il Web Terrain Server consentiranno di condividere attraverso internet strutture di dati geografici rispettivamente complesse (topologie) e tridimensionali.

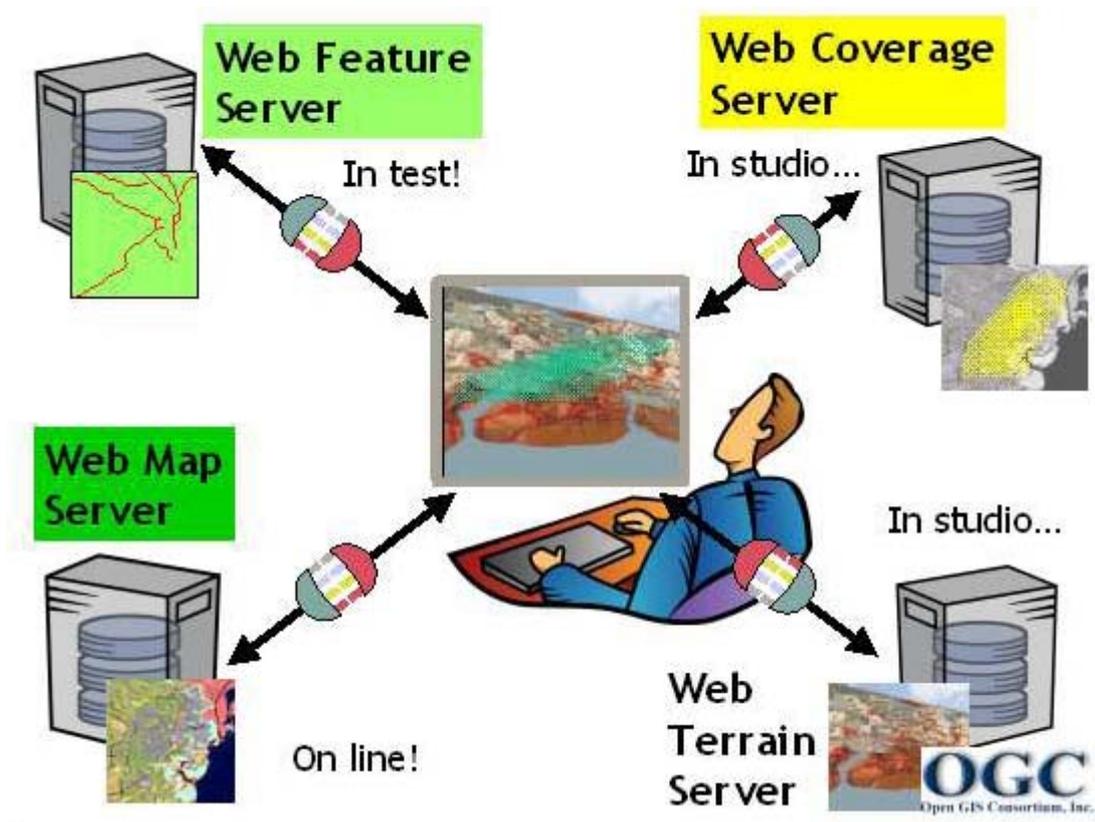



Figura 8.4. I web services dell'Open Geospatial Consortium (Fonte: OGC)

Un sistema basato su web services GIS viene reso più fruibile mediante un sito di accesso o GeoPortale che consente all'utente una ricerca dei dati mediante interrogazioni su un database di metadati anche mediante un'interfaccia di tipo GIS (selezionando da una mappa interattiva l'area di interesse).

Il sistema informativo distribuito, accessibile attraverso internet e basato su fonti di dati GIS web services, data catalog services e geoportali viene denominato Spatial Data Infrastructure (SDI). Sono altri elementi costitutivi di una SDI, gli accordi tra gli enti che vi partecipano relativi alle politiche di accesso e condivisione dei dati (livelli di sicurezza, accesso gratuito o a pagamento, ecc) , alle strategie di aggiornamento degli stessi e alle specifiche "di contenuto".
Quest'ultimo, è un punto di grande criticità. L'interoperabilità OGC-ISO è di tipo sintattico (cioè relativa al modello fisico del dato comprendente anche il sistema di coordinate geodetico-cartografiche), ma non entra nelle problematiche di tipo semantico. Le codifiche degli attributi e l'organizzazione logica degli strati informativi sono esempi di problemi che appartengono al campo dell'interoperabilità semantica. Se due enti territoriali confinanti, che hanno competenza per la realizzazione dello stesso strato informativo, lo strutturano diversamente da un punto di vista concettuale e logico, ne compromettono l'usabilità e le soluzioni tecnologiche (thesauri multilingua, architetture di banche dati federate, semantic web) sono parzialmente soddisfacenti. Analogo discorso vale per i metadati essendo le specifiche ISO molto astratte e complesse.

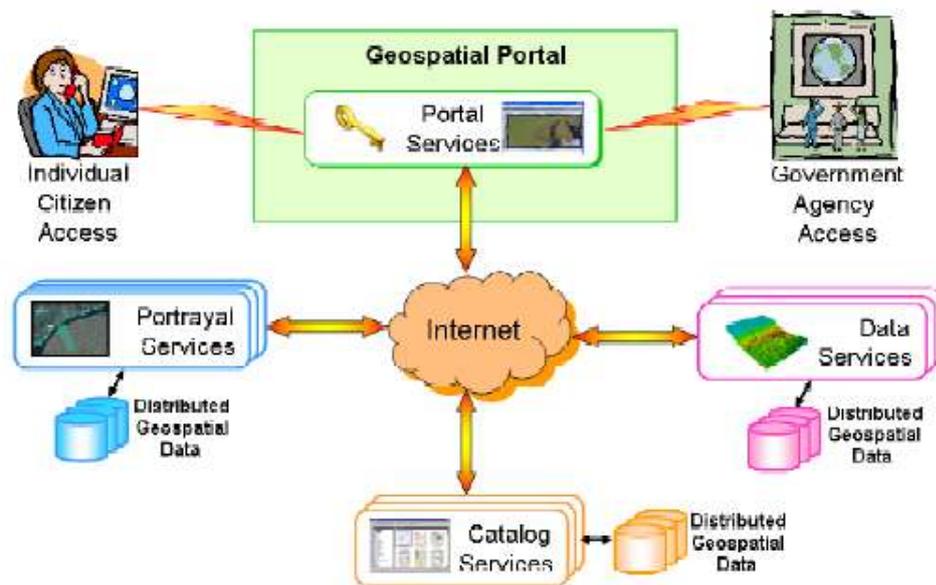



Figura 8.5. Architettura di sistema del GeoPortale secondo OGC (Fonte: OGC)

In Europa, l'esigenza di avere le informazioni geografiche rilevanti, armonizzate e di qualità per la formulazione, l'implementazione ed il monitoraggio delle politiche europee che hanno impatto sul territorio è stata sentita fortemente dalla DG Ambiente. Per questo motivo, all'inizio del 2002, la Commissione Europea ha lanciato l'iniziativa INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) che è stata sviluppata in collaborazione con gli Stati Membri e i Paesi candidati all'allargamento. L'iniziativa INSPIRE è divenuta Direttiva del Parlamento e del Consiglio Europeo il 14 maggio 2007 ed operativa il 15 maggio 2007.
In Italia, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha aderito ad INSPIRE. In particolare, la Direzione Generale per la Difesa del Suolo che, ai sensi del Decreto del Presidente della Repubblica 17 giugno 2003 n. 261, gestisce e coordina i sistemi informativi cartografici del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha sviluppato il sistema denominato Portale Cartografico Nazionale – Sistema Cartografico Cooperante in piena coerenza ed adesione con i Principi di INSPIRE (**www.pcn.minambiente.it**).

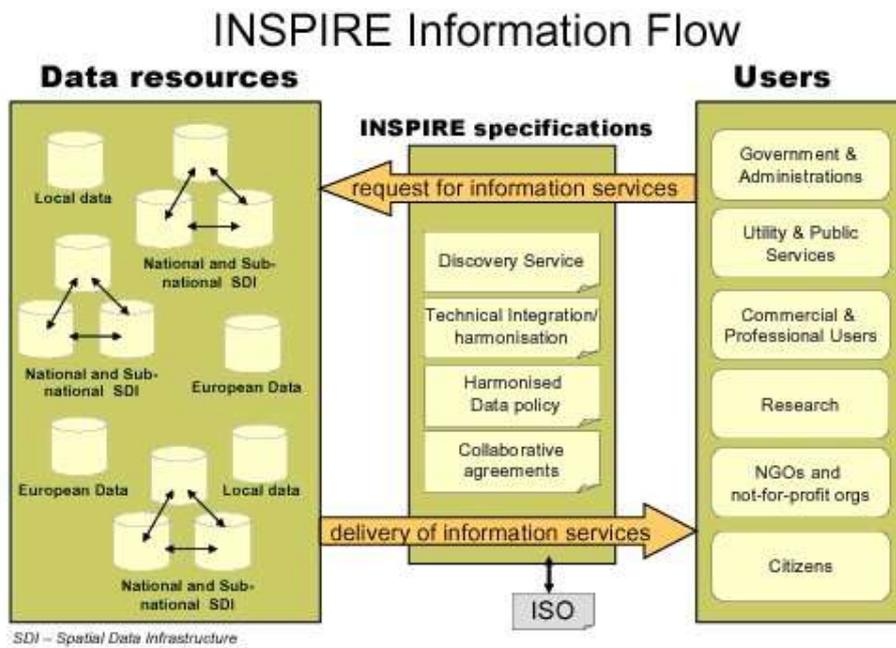



Figura 8.6. La European-SDI INSPIRE (Fonte: JRC)

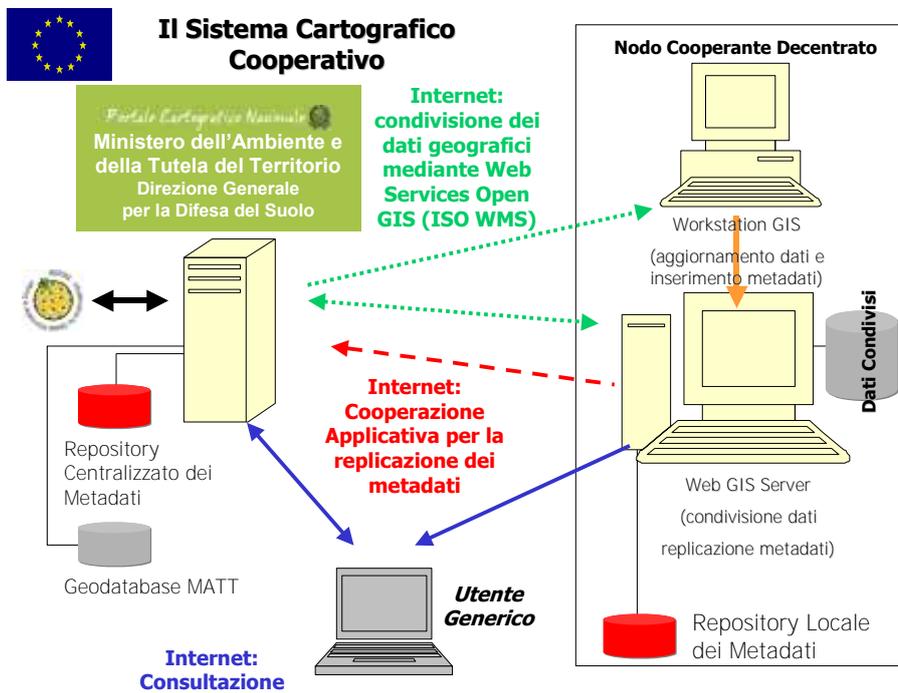



Figura 8.7. Flussi di dati nel Sistema Cartografico Cooperante – Portale Cartografico Nazionale (Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio)

8.2 Gestione, elaborazione e rappresentazione dei dati territoriali

8.2.1 Premessa.

Seguiremo, in questo paragrafo, un approccio strettamente operativo finalizzato a fornire all'analista ambientale un insieme di elementi utili per poter impostare un flusso di lavoro in termini di elaborazione di informazione geografica.
In particolare esamineremo le tipologie di dati pertinenti alle analisi di road ecology ed i requisiti funzionali per la corretta scelta di una piattaforma software GIS per realizzare le predette analisi.

8.2.2 I dati.

Ortoimmagini

Le ortoimmagini da satellite e da aereo costituiscono una ottima base dalla quale estrarre, per fotointerpretazione o mediante analisi spettrale, tematismi ambientali.
L'offerta sul mercato è ampia. Cercheremo di illustrarla con specifico riferimento ai prodotti idonei a ottenere cartografia ambientale alle scale di riferimento della road ecology.
La caratteristica dell'ortoimmagine rispetto all'immagine originale – foto aerea o scena satellitare – è quella di essere "cartograficamente corretta" rispetto alle quote del terreno e georeferenziata e, conseguentemente, di essere immediatamente integrabile in un GIS con altri dati.
Se questa caratteristica è un vantaggio per chi vuole produrre tematismi per digitalizzazione, è invece uno svantaggio per chi vuole produrre classificazioni automatiche o semiautomatiche che sfruttano il contenuto spettrale dell'immagine. Infatti il processo di ortocorrezione e di georeferenziazione implicano un ricampionamento dei pixel dell'immagine che ne distorce o impoverisce il contenuto spettrale compromettendo la fase successiva di classificazione.
La qualità dell'ortoimmagine dipende dall'accuratezza del Modello Digitale del Terreno utilizzato nel processo di ortocorrezione. Per ortofoto in scala 1: 2.000, ad esempio, si ottengono risultati eccellenti con DTM ottenuti mediante scansione laser.

Immagini satellitari ad alta risoluzione

Appartengono a questa categoria i satelliti dotati di sensori con risoluzione spaziale non superiore a 5 metri per la modalità pancromatica e non superiore a 10 m per la modalità multispettrale e dotati di almeno 1 canale sensibile allo spettro infrarosso (riflesso).
Come esempio di riferimento consideriamo la missione satellitare SPOT 5 dell'operatore Spot Image (Figura 8.8) della quale si utilizzeranno i prodotti HR-P-A (scena pancromatica con livello di processamento base relativo alla correzione radiometrica e geometrica di sistema e georeferenziazione), HR-XS-A (scena multispettrale con livello di processamento base relativo alla correzione radiometrica e geometrica di sistema e georeferenziazione) e HR-P-Ortho (scena pancromatica con livello di processamento elevato, e cioè sottoposta ad ortorettificazione utilizzando punti di controllo al suolo e Modello Digitale del Terreno) .
A partire dalla coppia di immagini corregistrate pancromatica e multispettrale, che costituiscono ogni scena, si può, infine, ottenere un prodotto che ha la risoluzione spaziale della scena pancromatica e la risoluzione spettrale della scena multispettrale.
Queste tecniche, note in letteratura come Data Fusion o Pan Sharpening, sono applicabili anche alle scene; pancromatica e multispettrale, ortorettificate. Il problema è che la tecnica di Data Fusion altera il contenuto spettrale dei dati e, per quanto le recenti applicazioni siano

orientate a preservare il contenuto spettrale, il prodotto finale è sostanzialmente un'immagine utile per la fotointerpretazione tradizionale.
A partire da questa tipologia di dati si ottengono mappe di Uso del Suolo e di stato della vegetazione ad una scala di riferimento di 1:50.000.

Figura 8.8. Immagine Spot in falsi colori (Fonte: ASITA)

Immagini satellitari ad altissima risoluzione

Appartengono a questa categoria i satelliti dotati di sensori con risoluzione spaziale non superiore a 1 metro per la modalità pancromatica e non superiore a 4 m per la modalità multispettrale e dotati di almeno 1 canale sensibile allo spettro infrarosso (riflesso). le cui principali caratteristiche tecniche ed operative sono riportate in Tabella 8.1.

Le immagini ad altissima risoluzione sono idonee ad una cartografia 1:10.000 (Figura 8.9). Con questo tipo di dati è possibile utilizzare sia tecniche di classificazione che sfruttano il contenuto spettrale del dato sia le tradizionali tecniche di fotointerpretazione in un ambiente GIS.

La tipologia di dato da utilizzare è quella dei prodotti VHR-P-A (scena pancromatica con livello di processamento base relativo alla correzione radiometrica e geometrica di sistema e georeferenziazione), VHR-XS-A (scena multispettrale con livello di processamento base relativo alla correzione radiometrica e geometrica di sistema e georeferenziazione) e VHR-P-Ortho (scena pancromatica con livello di processamento elevato, e cioè sottoposta ad ortorettificazione utilizzando punti di controllo al suolo e Modello Digitale del Terreno).

Vale quanto già detto, nel paragrafo precedente, per le tecniche di Data Fusion.

I prodotti ottenibili per fotointerpretazione sono sia la cartografia degli usi del suolo ad elevato livello di dettaglio (CORINE Land Cover Livello IV) che mappe di tipo ambientale, mentre i prodotto ottenibili da tecniche di classificazione spettrale sono le mappe di stato della vegetazione.

	EROS A1	**IKONOS**	**QUICKBIRD**
Altitudine dell'orbita	480 km	681 km	450 km
Sensore pancromatico	Sì	Sì	Sì
Risoluzione pancromatico	1 m	0.82 m	0.61 m
Sensore multispettrale	Non ancora operativo	Sì	Sì
Risoluzione multispettrale		3.2 m	2.44 m
Ampiezza della dinamica	11 bit per pixel	8 o11 bit per pixel	11 bit per pixel
Periodo di rivisitazione a nadir	1-7 giorni	14 giorni	Dipendente dalla latitudine
Dimensione minima acquistabile (nuove aquisizioni)	1 scena di qualsiasi tipo	100 kmq	64 kmq
Dimensione minima acquistabile (archivio)	5 kmq	80 kmq	25 kmq
Tempo minimo di risposta all'ordine	3-5 gg.	50 gg.	90 gg.
Copertura nuvolosa	20 %	20 %	20 %

Tabella 8.1. Missioni satellitari ad altissima risoluzione

Ortofoto

I prodotti disponibili sul mercato italiano sono, per lo più, in scala 1:10.000, 1:5.000 e 1:2.000.

Da un punto di vista della qualità del dato, questo è notevolmente migliorato con l'introduzione delle camere digitali e di tecnologie per la georeferenziazione diretta delle immagini (ad es. APPLANIX POS/AV).
Le camere digitali consentono di produrre un dato nativo digitale sia pancromatico che multispettrale (canali rosso, verde, blu ed Infrarosso Vicino).
Ad oggi vengono ortocorrette, per lo più, le immagini pancromatiche e multispettrali, mentre l'immagine in falsi colori viene solo georeferenziata.

Essendo un prodotto di largo consumo, è importante rilevare che una delle società industriali del settore, la Compagnia Generale Ripreseaeree SpA di Parma, ha realizzato un prodotto a copertura nazionale in scala 1:10.000 di cui gestisce l'aggiornamento complessivo con

cadenza triennale (ortofoto IT 2000). Da un anno il prodotto (Figura 8.10) viene realizzato con la camera digitale Leica ADS40 e le ortoimmagini hanno un pixel da 50 cm (Ortofoto IT 2000 NR). La CGR dispone di un DTM proprietario di alta qualità costantemente aggiornato. Gli altri produttori nazionali di ortofoto operano mediante campagne di volo su commessa.

Le ortofoto pancromatiche e multispettrali sono utilizzabili per realizzare, mediante fotointerpretazione in un software GIS, sia la cartografia degli usi del suolo ad elevato livello di dettaglio (CORINE Land Cover Livello IV) che mappe di tipo ambientale, mentre le immagini digitali in falsi colori si prestano ad ottenere mappe di stato della vegetazione.

Dati iperspettrali

I sensori iperspettrali sono caratterizzati dall'avere una risoluzione spettrale assai elevata.
Il sensore MIVIS (Daedalus AA5000) è un sistema a scansione capostipite di una nuova generazione di apparati sensoriali iperspettrali aerotrasportati che opera con un'elevata risoluzione spaziale e spettrale. Si tratta di uno strumento modulare - implementato nell'ambito del Progetto LARA (Laboratorio Aereo per Ricerche Ambientali) del Consiglio Nazionale delle Ricerche - costituito da quattro spettrometri che riprendono simultaneamente la radiazione proveniente dalla superficie terrestre nel visibile (20 bande tra 0,43 e 0,83 μm), nell'infrarosso vicino (8 bande tra 1,15 e 1,55 μm), nell'infrarosso medio (64 bande tra 2,0 e 2,5 μm) e nell'infrarosso termico (10 bande tra 8,2 e 12,7 μm) per un totale di 102 canali. Il sensore è ospitato a bordo di un bimotore turboelica CASA 212/200 della Compagnia Generale Ripreseaeree di Parma.
L'elevata risoluzione spaziale (da 24 m a 1 m a seconda della quota di volo) e spettrale dei dati, consente di produrre mappe tematiche di elevata precisione mediante procedure di classificazione automatiche e semiautomatiche basate sull'analisi delle firme spettrali dei materiali.
Infatti, ogni scena MIVIS è costituita da 102 immagini co-registrate. Questo significa che ogni pixel è caratterizzato da 102 valori che, graficati in un opportuno sistema di assi cartesiani come curva, ne definiscono la "firma spettrale". L'analisi spettrale si basa sulla possibilità di riconoscere la "firma" associata ai vari materiali.
Vi sono due grandi famiglie di metodologie di classificazione dei dati satellitari. Le metodologie *image based* richiedono una minor accuratezza nella fase di correzione radiometrica ed atmosferica ed un numero maggiore di informazioni ausiliarie. Identificate nella scena delle aree aventi le caratteristiche ricercate - ad esempio per confronto con foto aeree o con strati informativi GIS – gli algoritmi cercano di riconoscere tutti i pixel che hanno firma spettrale simile a quelli delle aree "di verità". Se, invece, il livello di correzione radiometrica è raffinato si possono usare delle procedure di classificazione *spectral library based* nelle quali il confronto è operato tra i pixel della scena ed una libreria di spettri di riferimento misurati in laboratorio.

Figura 8.9. Ortoimmagine multispettrale Ikonos (Fonte: Eurimage)

Cartografie di Uso del Suolo

La cartografia di uso del suolo è un tematismo basilare per le analisi di landscape ecology e di road ecology.
L'APAT gestisce, per l'Italia, la redazione e l'aggiornamento della cartografia di uso del suolo secondo lo standard **CORINE Land Cover** dell'Unione Europea.
Il Livello 3 del CORINE Land Cover è una cartografia in scala 1:100.000 (UTM 32N Datum WGS84) ottenuta per fotointerpretazione di immagini satellitari ortocorrette (Landsat 5 TM per l'edizione del 1990 e Landsat 7 ETM+ per l'edizione 2000). Il livello 3 prevede una leggenda con 44 classi suddivise su tre livelli gerarchici. La scala di riferimento e la superficie minima dell'unità cartografata (25 ettari) la rendono idonea per analisi ambientali a scala nazionale e regionale. Altre caratteristiche di rilievo sono il carattere areale del dato (copertura poligonale) e l'estensione della copertura non legata a limiti di tipo politico o amministrativo.
Nell'ambito del progetto per la realizzazione della copertura al 2000, Progetto Image & CORINE Land Cover 2000 I&CLC2000, è stata decisa l'implementazione a livello centrale del Livello 4 per una mappatura più dettagliata delle classi di uso/copertura del suolo ritenute di maggior interesse per le tematiche di gestione delle risorse forestali e semi-naturali.
La fotointerpretazione è stata impostata in modo coerente con quella del Livello 3 sfruttando diverse combinazioni a falsi colori, ottenute con i canali del rosso e dell'infrarosso delle immagini Landsat 7 ETM+ (bande 3,4,5, 7), un modello digitale del terreno e le ortofoto IT2000.
La scala di riferimento nominale è rimasta di 1:100:000, ma l'area minima cartografabile è scesa a 20 ha.

La consultazione e distribuzione dei prodotti I&CLC2000 avviene mediante il sito web www.clc2000.sinanet.apat.it. Attraverso tale sito è possibile la consultazione con strumenti GIS WEB delle cartografie CORINE 90 e 2000 e 2000 Liv. 4 e delle basi satellitari (banda pancromatica e sintesi RGB 321 delle bande multispettrali) nonché il download delle cartografie CORINE sia come strato a livello nazionale che per singole Regioni.
Le Regioni hanno prodotto delle loro cartografie di uso del suolo ispirandosi alle metodologie CORINE.
Un esempio è la Carta di Uso del Suolo (CUS) della Regione Autonoma Sardegna in scala 1:25.000 Edizione 2003.
L'individuazione delle aree è stata prodotta per fotointerpretazione a video delle ortofoto digitali pancromatiche AIMA (AGEA) con l'ausilio di immagini satellitari Landsat 5 TM (invernali e estive) elaborate secondo opportune combinazioni a falso colore, di ortofoto IT2000 e della Carta Tecnica Regionale Numerica e di altra cartografia tematica ambientale. Il database è sostanzialmente quello del I&CLC2000 con alcune modifiche.
Si riporta in Figura 8.11 la sovrapposizione tra ortofoto IT2000, il prodotto I&CLC2000 (in blu) e la CUS 2003 (in rosso). La figura ben illustra le differenze di accuratezza tematica e posizionale tra le due cartografie di uso del suolo
Altri esempi di cartografie di uso del suolo sono quelle della Regione Autonoma Siciliana e della Regione Lazio.

Figura 8.10. Sovrapposizione tra ortofoto IT2000, il prodotto I&CLC2000 (in blu) e la CUS 2003 (in rosso).

Cartografie tematiche ambientali

La produzione di cartografie tematiche di tipo ambientale avviene ai vari livelli di competenza amministrativa.
Citiamo alcuni progetti della Pubblica Amministrazione Centrale che possono essere considerati esemplificativi di questa ampia classe di dati.

Progetto "Carta della Natura" – Sottoprogetto Carta Ecopedologica"

È un Progetto inquadrato nel contesto Nazionale relativo alla realizzazione della Carta della Natura, come previsto sotto la voce "carta eco-pedologica" dalla legge n. 377 del novembre 1997 che segue la legge quadro sulle Aree Protette n.394 del 6.12.1991; dall'altro lato il progetto si inserisce nell'ambito della realizzazione del Sistema Informativo sui Suoli Europeo (European Soil Information System, EUSIS) come descritto nel documento EUR 18092 EN (Georeferenced Soil Database for Europe).
La Carta Eco-Pedologica e' coerente con la delineazione delle unità e dei tipi di paesaggio individuati nell'ambito della Carta della Natura, caratterizzandone ulteriormente la componente pedologica.
A sua volta, la caratterizzazione delle unità eco-pedologiche dal punto di vista vegetazionale è strettamente correlata con le attività previste come conoscenze naturalistiche di base della Carta della Natura.
La Carta Eco-pedologica si configura cosi come elemento di raccordo delle varie componenti della Carta della Natura (esclusa la parte faunistica): geologia, geo-morfologia, suolo, vegetazione e clima.

Progetto "Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000"

Il Progetto Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 è in corso di esecuzione dal 1988 originariamente ad opera del Servizio Geologico d'Italia del Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri ed attualmente ad opera dell'APAT.
Il mosaico della nuova carta è composto in totale da 636 fogli geologici di base.
Va anche segnalato che tra le carte geotematiche a corredo di ogni foglio, sempre alla scala 1:50.000, è previsto anche il tematismo geomorfologico, attualmente però in corso di realizzazione su un numero limitato di fogli.

Progetto "Atlante Nazione del rischio di Desertificazione"

È un Progetto realizzato dall'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa e l'Istituto Nazionale di Economia Agraria nell'ambito di una specifica convenzione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.
L'Atlante è costituito da cartografia GIS conforme agli standard del Sistema Cartografico di Riferimento realizzata con un insieme di modelli che hanno valorizzato il patrimonio di dati già esistenti presso la Pubblica Amministrazione e concretizzata in strati informativi relativi ad indici di impatto e risposta elaborati per i sistemi di degradazione delle terre considerati (erosione, salinizzazione, urbanizzazione, siccità).
I file sono organizzati gerarchicamente per Regione e per sistema di degradazione delle terre e possono essere importati anche singolarmente in qualsiasi programma GIS idoneo a leggere i formati ESRI shapefile e GRID.

Cartografia delle Aree Naturali Protette

La cartografia delle Aree Naturali Protette è raccolta in collaborazione con gli Enti che hanno competenza territoriale (Enti Parco Nazionali, Regioni, Province, Comuni) dalla Direzione Generale per la Conservazione della Natura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
Vi sono, poi, le varie carte geobotaniche, fitosociologiche, carte dei suoli, carte della presenza di contaminanti prodotte mediante tecniche geostatistiche a partire da campagne di sondaggi, rilievi faunistici, ecc.
La classe delle cartografie ambientali è contraddistinta, infatti, da una estrema varietà di prodotti che, in genere, non garantiscono né la possibilità di produrre sintesi a livello nazionale né confronti multitemporali sulla stessa area.

Cartografia Topografica, Reticolo Idrografico e Grafi delle Reti di Trasporto

La cartografia topografica è realizzata per le scale dal 1:25.000 al 1:1.000.000 dall'Istituto Geografico Militare, mentre le scale 1:10.000 – 1:5.000 sono di competenza delle Regioni (Carte Tecniche Regionali).
Come risultato dell'accordo istituzionale denominato "*Intesa Stato – Regioni ed Enti Locali per la realizzazione dei Sistemi Informativi Geografici di interesse generale*" (firmato il 26 settembre 1996) o Intesa GIS sono state prodotte delle specifiche per la produzione della cartografia numerica i cui principi possono essere riassunti come segue:

- La cartografia numerica alle varie scale deve essere un prodotto utilizzabile nei software GIS.
- Pertanto, al concetto di cartografia (cartacea) e cartografia numerica (per lo più in formato CAD), subentra quello di Database Topografico Generale.
- L'aggiornamento della cartografia deve essere un processo che parte dalla base della piramide informativa e, in conseguenza, le specifiche introducono il concetto di Database Topografico Multiscala. La cartografia alle varie scale deve essere coerente e gestita secondo processi di generalizzazione cartografica.

Le specifiche dell'Intesa GIS sono disponibili al sito web www.intesagis.it e altre specifiche sono disponibili nel sito web del *Comitato tecnico nazionale per il coordinamento informatico dei dati territoriali* del CNIPA
http://www.cnipa.gov.it/site/it-IT/Aree_operative/Progetti,_applicazioni_e_servizi/Sistemi_Informativi_Territoriali/
Ad oggi questo vasto processo di riorganizzazione delle cartografie informatizzate è agli inizi e sono in fase di consegna le prime Carte Tecniche Regionali realizzate secondo la specifica del Database Topografico Generale. L'IGMI ha predisposto le specifiche per le scale di sua competenza e per il multiscala 25K compatibile con il 10K.
Tuttavia, l'Intesa GIS è stata consapevole della necessità di dover disporre con urgenza di una serie di strati informativi a copertura nazionale ed ha varato il Progetto Database Prioritari in scala 1.10.000 (DBPrior10k).
Le specifiche di contenuto per i DBPrior10k sono state legate, dunque, alla necessità prioritaria di una realizzazione in tempi brevi. Da ciò è derivato che l'ottimizzazione dei contenuti doveva essere funzione della speditezza esecutiva, dei costi e della qualità necessaria alla fruibilità.
In base a questa esigenza è stato stabilito che il DBPrior10k fosse costituito da strati prioritari ed essenziali. Strati *Prioritari*, cioè non tutti gli strati richiesti anche da una versione minima, ma solo quelli ritenuti non dilazionabili. Strati *Essenziali*, in quanto il loro contenuto informativo è stato ridotto al minimo garantibile in tempi brevi su tutto il territorio nazionale.
L'insieme degli strati che costituiscono il DBPrior10k è il seguente:

- Viabilità, mobilità e trasporti (reticolo strade e ferrovie)
- Centri urbani e nuclei abitati
- Indirizzi
- Idrografia (Reticolo idrografico e bacini)
- Ambiti e limiti amministrativi
- Altimetria
- Toponimi delle località significative.

Sulla base di queste premesse sono state adottate originariamente le seguenti indicazioni operative:

- modello spaziale di riferimento planimetrico (2D);
- consistenza con le specifiche per i DB Topografici di interesse generale (ove possibile e ove definite);
- derivabilità, ove possibile, da DB vettoriali di Regioni alle scale 1:5.000, 1:10.000;
- aggiornabilità e/o derivabilità da ortofoto alla scala 1:10.000;
- compatibilità con il DB25 senza peraltro prevedere tutte le informazioni necessarie alla sua derivazione.

Il progetto DBPrior10k è stato impostato su due Fasi. La Fase 1 prevedeva per gli strati Viabilità, mobilità e trasporti e Idrografia una versione semplificata sia in termini di geometrie che di attribuiti, rimandando alla Fase 2 un approfondimento geometrico e tematico.

La specifica è stata, poi, adattata alle esigenze emerse in fase operativa.

- I DBPrior10K non sono, di fatto, compatibili con i DB Topografici Generali, mentre sono sovrapponibili alle Ortofoto IT2000 della Banca Dati di Riferimento del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (UTM 32/33 WGS 84).
- Per gli strati informativi Ambiti e limiti amministrativi, Centri urbani e nuclei abitati si sono utilizzate le geometrie ISTAT Census 1991 con alcune modifiche nella struttura della banca dati associata.
- L'altimetria è derivata dal TIN 0 Digitalia del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.
- Lo strato indirizzi è previsto solo per la Fase 2.

Alla data attuale è in corso di completamento e consegna il DBPrior10k Fase 1 al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. Per lo strato Viabilità, mobilità e trasporti è stato implementato il modello dati a segmentazione dinamica per gli attributi ad aggiornamento più frequente (Figura 8.12).

Figura 8.11. DBPrior10K Fase 1 Strato Viabilità (Fonte: Regione Campania)

Oltre ai DBPrior10k esistono altri reticoli idrografici e grafi delle infrastrutture di trasporto differenti per produttore, scala (accuratezza posizionale) e estensione geografica.
Per i reticoli idrografici a copertura nazionale citiamo quello realizzato dall'APAT in scala 1:200.000, reso coerente con le reti di monitoraggio idropluviometrico, mentre per i grafi delle infrastrutture di trasporto vi sono i prodotti a copertura nazionale realizzati da società industriali quali TeleAtlas e NavTech (a varie scale di riferimento).

Confini amministrativi

Gli strati informativi dei confini ammnistrativi ai vari livelli (sezioni di censimento, confini comunali, confini provinciali, confini regionali) sono prodotti dall'ISTAT nell'ambito del Progetto Census (basi informative per i censimenti) e distribuiti direttamente e mediante una rete di providers commerciali.
I confini amministrativi del Censimento 2001 (Progetto Census 2000) sono coerenti con l'ortofoto AGEA e con un grafo stradale.
I dati censuari sono consultabili e scaricabili (con disaggregazione minima a livello comunale) dal sito web dell'ISTAT http://www.istat.it/censimenti/.

Dati catastali

Il Catasto gestisce le informazioni relative alle proprietà immobiliari ricorrendo a tre archivi distinti e separati: quello dei fabbricati, delle particelle terreni e quello cartografico.
Per quanto previsto dalla legge 133 art. 9 (Accordo tra Fisco e Comuni) i Comuni opereranno come sportello decentrato del Catasto.
Tutti gli Uffici del Catasto (93 Province) gestiscono gli archivi informatizzati con tutte le informazioni, di carattere amministrativo - censuario, relative alle particelle terreno ed ai fabbricati. Attualmente 27 Uffici gestiscono anche le informazioni cartografiche delle mappe informatizzate.

Le mappe cartacee del Catasto ammontano a circa 300.000 a copertura dell'intero territorio nazionale. Il 70% delle mappe è a scala di 1:2000, il 28% è a scala di 1:1000, il rimanente comprende scale di 1:500 (per i centri urbani) e di 1:4000 (per zone montuose e non urbanizzate).

Il Catasto prevedeva il completamento dell'informatizzazione delle mappe entro il 1999.

I dati catastali possono essere richiesti direttamente al Catasto pagando gli importi dovuti per legge o stabilendo un protocollo d'intesa con il Catasto.

Relativamente ad ogni Comune si può richiedere al Catasto:

- La cartografia numerica (fogli di mappa informatizzati);
- I dati censuari amministrativi del Catasto Urbano (o Fabbricati);
- I dati censuari amministrativi del Catasto Terreni.

Ricordiamo che il principale problema posto dalle cartografie catastali agli utenti GIS è il sistema di coordinate cartografiche (sistema Cassini Soldner adottato con la L. 3682 del 1886). Ad oggi sono disponibili sul mercato software che consentono la conversione dal sistema Cassini Soldner al sistema nazionale Gauss Boaga.

		8.2.2.1.1.1.1.1.1 Road Ecology			
		Analisi	**Zonizzazione**	**Valutazione**	**Monitoraggio**
Tipologia di dati	Ortoimmagini	X	X	X	X
	Confini Amministrativi	X	X	X	X
	Carte di Uso del Suolo	X	X	X	X
	Cartografia delle Aree Naturali Protette	X	X	X	X
	Altra Cartografia Tematica Ambientale	X	X	X	
	Cartografia Topografica	X	X	X	X
	Cartografia Catastale	X	X	X	X
	Reticolo Idrografico	X	X	X	X
	Grafi delle Reti di Trasporto	X	X	X	X

Tabella 8..2. Uso dei dati geografici nella Road Ecology

Dalla Tabella 8.2 è possibile evincere come le tipologie di dati descritte nel presente capitolo siano tutte essenziali per le analisi di road ecology.

8.2.3 Le piattaforme di elaborazione GIS

Con riferimento alla "Piramide della scalabilità dell'offerta GIS" (Figura 8.3), le analisi di road ecology richiedono una piattaforma software GIS di "livello Doers" o di "livello Users". La scelta tra i due livelli è collegata alla quantità dei dati da elaborare che può essere stimata mediante due parametri:

- estensione spaziale dell'area di studio;
- scala di riferimento dell'analisi.

In linea di principio si può affermare che un'analisi in scala 1:10.000 per un estensione territoriale pari ad es. alla Sicilia richiede un GIS di "livello Doers".

Un secondo criterio di scelta tra le piattaforme software GIS è dato dalle funzionalità che il software offre ai fini delle analisi.
Tali funzionalità sono riassunte nella seguente tabella 8.3.

Funzionalità	**Descrizione**
Capacità di gestire in importazione ed esportazione formati GIS e CAD.	I Dati necessari ad un'analisi ambientale provengono da una molteplicità di Enti e di produttori che di rado utilizzano la stessa tecnologia GIS. Spesso, poi, informazioni utili sono state realizzate mediante software CAD. Le funzioni di importazione possono essere di due tipi: • Routine ETL (Extraction – Translation – Load): sono procedure che processano il dato in input e lo trasformano fisicamente nel formato dati della piattaforma GIS di destinazione; queste routine hanno lo svantaggio di frequenti perdite di contenuto informativo dovute alle differenze tra gli schemi concettuali dei vari formati GIS; • Tecnologie "Data Server": si tratta di connettori software che consentono di leggere ed utilizzare i dati nei vari formati GIS originali senza dover effettuare la loro trasformazione fisica (che è sempre comunque possibile mediante procedure con funzioni di controllo della qualità del contenuto informativo). Le funzionalità in output devono garantire l'esportazione dei dati verso i formati che si sono affermati come standard o de jure (GML) o de facto (ESRI shapefile, DWG, DXF).
Connettori verso i Web Services OGC	I web services Open Geospatial Consortium sono tecnologie che consentono interoperabilità tra piattaforme software GIS eterogenee attraverso Internet. I dati vengono condivisi mediante pubblicazione da un server web GIS secondo diverse possibili modalità standard e i fruitori connessi alla rete li possono utilizzare dentro i loro applicativi GIS senza che i dati siano fisicamente spostati e copiati nel client di destinazione. I software GIS dotati di connettori OGC sono registrati presso il sito web dell'Open Geospatial Consortium (http://www.opengeospatial.org/resources/?page=products).
Integrazione con RDBMS spatially enabled	L'esigenza di memorizzare grandi quantità di dati geografici nella modalità di "continuo geografico", senza, cioè, doverli tagliare in porzioni spazialmente limitate ("tiles"), è stata alla base della messa a punto di tecnologie che consentono di memorizzare non solo gli attributi tabellari, ma anche le geometrie in RDBMS (Oracle, DB II, Informix, MS SQL Server, PostGreeSQL, etc.). La formalizzazione della "specifica astratta" dell'informazione geografica, operata grazie all'OGC, ha, poi, portato ad una ulteriore standardizzazione e ad un incremento di interoperabilità che si fonda su un'estensione del modello dati relazionale e che consente agli RDBMS di fornire direttamente funzionalità ottimizzate di accesso ed anche di elaborazione dei dati geografici. In particolare le software house Intergraph, Autodesk, Mapinfo e Laser-Scan (Radius Topology) garantiscono interoperabilità, mediante un "connettore" gratuito, verso dati geografici memorizzati nell'RDBMS Oracle.

Funzionalità	Descrizione
Routine di trasformazione tra sistemi di coordinate geografiche e cartografiche	Il datum geodetico ETRS89 è stato indicato dall'Unione Europea come sistema di riferimento comune per l'Europa. Un documento di particolare interesse realizzato dal Joint Research Centre della Commissione Europea e da EuroGeographics può essere scaricato dal link: http://www.ec-gis.org/docs/F2682/MAP%20PROJECTIONS%20FOR%20EUROPE%20EUR%2020120.PDF Un ulteriore riferimento in tal senso si trova nel documento "INSPIRE Architecture and Standards Position Paper (INSPIRE AST PP v4-3 en.doc)". In Italia, la Banca Dati di Riferimento, realizzata nel Progetto Sistema Cartografico di Riferimento dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ha recepito lo standard INSPIRE ed è stata correttamente impostata secondo il sistema UTM WGS 84 Zone 32 e 33. Tuttavia nel nostro paese sono, a tutt'oggi, utilizzati una molteplicità di sistemi di riferimento geodetici e cartografici: UTM ED 50 (Zone 32 e 33), Gauss Boaga (Fusi Est e Ovest), UTM WGS 84 (Zone 32 e 33), sistema Cassini Soldner (con molteplici centri locali di emanazione). La trasformazione tra questi sistemi è, spesso, affrontabile con precisione accettabile mediante gli algoritmi direttamente implementati nei software GIS commerciali, e, poi, esistono processori software specifici per la realtà italiana che garantiscono elevatissimi livelli di precisione. Tra questi processori software ricordiamo quelli sviluppati dalla Pubblica Amministrazione. Alcuni sono nati all'interno di progetti specifici ed hanno distribuzione limitata alla sola PA come Traspunto (Progetto Sistema Cartografico di Riferimento - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio), altri sono commercializzati come Verto dell'IGMI.
Funzioni di georeferenziazione avanzata (Rubbersheeting) per dati raster e vettoriali	Alcuni dati non sono realizzati con una proiezione rigorosa. Si pensi alle foto aeree o ai dati satellitari, ma anche a cartografie CAD che nascono da rilievi speditivi o su basi non cartograficamente affidabili. La georeferenziazione di questi dati si basa su algoritmi di "deformazione continua": dati un certo numero di punti dei quali sono note le coordinate sia nello spazio cartesiano del dato originale che le coordinate cartografiche corrette, il software riprometta l'intero strato informativo, calcolando le coordinate dei vari punti (vertici o pixel) a partire da quelle note. A partire dal quarto punto di controllo inserito, il software calcola le posizioni dei punti successivi ed evidenzia la differenza tra le coordinate calcolate e le coordinate "vere" inserite. La qualità del processo viene, dunque, controllata mediante la scelta del tipo di algoritmo di deformazione e il posizionamento dei punti di controllo che deve essere tale da minimizzare l'errore.

Funzionalità	Descrizione
Analisi spaziale mediante modello raster generalizzato (GRID)	Il modello di dati GRID associa al territorio in esame una griglia a maglie quadrate mediante la quale vengono discretizzati – sia da un punto di vista geometrico che rispetto agli attributi - gli strati informativi in esame: gli strati vettoriali vengono così *rasterizzati* ed integrati con gli strati *raster* mediante operazioni algebriche tra le celle corrispondenti nei vari strati (overlay). Questo metodo presenta il vantaggio di poter fissare *a priori* il numero degli elementi che compongono lo strato informativo - in genere in funzione della risoluzione spaziale della stessa (ad es. maglie da 100 metri quadrati) – e quindi la dimensione dei files di output. Nel processo di analisi spaziale si alternano le fasi di rasterizzazione con quelle di sovrapposizione degli strati e con quelle di riclassificazione del *range* di valori numerici dell'attributo delle celle e questo fa emergere due problemi. Il primo riguarda la funzione con la quale gli attributi del tematismo originale vengono discretizzati durante la rasterizzazione ("teoria della prevalenza"), mentre il secondo è rappresentato dalla difficoltà di interpretare mediante riclassificazione l'attributo delle celle dopo un certo numero di sovrapposizioni. Il modello GRID, nelle sue implementazioni più complete, offre una gran quantità di funzioni analitiche che vanno dai modelli di geostatistica agli algoritmi locali, focali e zonali, dalle funzioni per l'analisi delle superfici alle funzioni idrologiche.
Costruzione di reportistica cartografica	Le funzioni base di reportistica dei software GIS rendono possibile produrre cartografia cartacea con un buon controllo di parametri quali scala, colori e formati, scelta dei livelli informativi e dimensioni in output su carta. Esistono, poi, dei moduli GIS per i software di grafica professionale che consentono di gestire in questi ultimi anche i principali formati dei dati dell'informazione geografica e di ottenere, quindi, cartografia di elevatissimo livello qualitativo.
Query su database	Vi sono due tipi di interrogazioni che si possono effettuare in un GIS: • le query sugli attributi tabellari che utilizzano il linguaggio di interrogazione standard degli RDBMS (SQL) spesso rese più semplici per gli utenti meno esperti da interfacce di composizione "amichevoli"; • "query spaziali" cioè interrogazioni relative alle caratteristiche geometriche e topologiche delle entità (ad es. "Quali sono le entità a distanza di 100 m dall'entità selezionata?" oppure "Quali sono i Comuni attraversati dalla SS1?"). Le prestazioni nelle query sono legate a quelle del database. Nel caso di query spaziali su dati geografici memorizzati direttamente nel RDBMS sono importanti le tecniche di indicizzazione spaziale dei dati implementate direttamente nel RDBMS (come, ad es., in Oracle Spatial o in PostGIS) o in moduli software di accesso ai dati (es. tecnologia ESRI SDE).
Analisi di prossimità	È una funzione per l'analisi della disposizione degli elementi sul territorio, basata sulla misura della distanza tra essi e con altre elementi e caratteristiche dell'area di interesse. Infatti, la distanza tra un punto A e un punto B può essere misurata lungo una linea retta, oppure lungo un qualsiasi percorso su una rete. Una volta determinata la distanza nel modo voluto deve essere possibile determinare altre informazioni pertinenti, quali l'accessibilità dell'elemento di riferimento, i percorsi alternativi, etc.

Funzionalità	**Descrizione**
Overlay topologico	Sono state le prime funzionalità ad essere implementate in un GIS rimanendo ancora oggi le funzioni di base. Concettualmente si tratta di funzionalità molto semplici, ma solamente una struttura dei dati completamente topologica permette di realizzarle in modo efficace. Infatti, il risultato della sovrapposizione di diversi livelli informativi non deve essere solamente visuale (si vedono gli elementi sovrapposti) ma anche e soprattutto a livello degli attributi, che devono essere riportati da un livello informativo all'altro, nelle rispettive corrispondenze degli elementi. Le sovrapposizioni (overlay) possono essere suddivise in tre categorie principali: punti su poligoni, linee su poligoni e poligoni su poligoni. Il numero degli elementi dell'analisi subisce un rapido incremento man mano che i confronti tra gli strati vettoriali procedono con conseguente crescita delle dimensioni dei files di output. Il metodo è conveniente se vogliamo operare delle analisi qualitative poiché gli elementi dell'intersezione conservano "memoria" mediante opportuni campi attributo degli strati informativi a partire dai quali sono stati costruiti. Questo procedimento diventa invece assai laborioso se vogliamo utilizzarlo per analisi quantitative in quanto si complicano le problematiche della "prevalenza" e della riclassificazione.
Buffering	E' la capacità di determinare le aree di rispetto intorno a specifici elementi geografici. Deve essere possibile modulare l'operazione di delimitazione dell'area a seconda delle necessità dell'operatore dà modo di risolvere, con pochi passaggi, problemi altrimenti difficilmente risolvibili; ad esempio: la capacità di effettuare buffering asimmetrici rispetto ai due lati di un elemento lineare oppure di effettuare un buffering parametrizzato a seconda delle caratteristiche dell'elemento. Una volta creata la fascia di rispetto, sia intorno ad un punto, linea o poligono, il risultato è sempre un livello informativo di tipo poligonale, che può essere utilizzato per sapere se un determinato punto cade all'interno o all'esterno della zona identificata, per successive analisi.
Segmentazione dinamica	E' la funzionalità che consiste nella capacità di associare diversi insiemi di attributi a qualsiasi segmento di un elemento geografico lineare senza dover cambiare la struttura fisica dello stesso: in questo modo è possibile, ad esempio, attribuire informazioni diverse a porzioni diverse di un arco, senza dover effettivamente spezzare fisicamente l'arco. L'identificazione di un elemento geografico è effettuata attraverso la sua posizione lungo l'elemento grafico lineare. Questo modello dati, noto in letteratura come Linear Referencing System, è stato creato con specifico riferimento ai grafi delle infrastrutture di trasporto. Infatti nel settore delle infrastrutture di trasporto il rilevamento dei dati avviene molto spesso con riferimento alle progressive, piuttosto che alle posizioni in termini di coordinate geografiche. Il modello LRS semplifica enormemente l'acquisizione dei dati, in quanto consente di memorizzare e gestire solamente una coordinata di posizione invece che due e di usare un sistema di riferimento più vicino alla realtà dell'utilizzatore finale. Le funzionalità di segmentazione dinamica permettono quindi di rappresentare e gestire in maniera estremamente efficace le informazioni associabili ad elementi geografici lineari. Nel modello LRS valgono, infine, tutte le proprietà dell'overlay topologico.

Funzionalità	Descrizione
Modellazione tridimensionale	E’, in generale, la capacità di gestire e compiere analisi su oggetti 3D intendendo con ciò che le entità sono memorizzate in un sistema che gestisce tre coordinate (x,y,z). I Modelli tridimensionali (Digital Terrain Model o DTM) sono di due tipi: • il modello vettoriale TIN (Triangulated Irregular Network) costituito da una rete di triangoli i cui vertici sono costituiti dai punti di cui si conoscono le tre coordinate; • il modello GRID DEM (Digital Elevation Model), che è una griglia raster a passo regolare in cui, per ogni cella, è noto il valore della quota. Il processo di costruzione di un DTM in genere parte da una nuvola di punti quotati irregolarmente spaziati che vengono interpolati, noti gli elementi di discontinuità (breaklines), producendo un TIN il quale a sua volta viene trasformato in un DEM. Nel caso di punti rilevati mediante laser scanner il primo prodotto è un DSM Digital Surface Model che contiene anche i punti generati dalla vegetazione e dai manufatti. A partire da un DTM (TIN o DEM) è possibile interpolare curve di livello, effettuare analisi di visibilità, generare profili longitudinali, morfologici o sezioni, effettuare analisi di pendenza e di esposizione, cliviometrie, generare viste 3D, etc.. Ma soprattutto è possibile calcolare lunghezze reali e non ridotte all'orizzonte, dato che alcuni elementi del territorio, come ad esempio le strade, hanno un andamento altimetrico (non sono "piatte").

Funzionalità	Descrizione
Analisi di rete (Network Analysis)	Si tratta di funzionalità in grado di modellizzare aspetti geometrico-topologici e funzionali delle reti di comunicazione e di servizi. Il modello dati Network prevede grafi connessi costituiti da archi (polilinee) e da nodi con una complessa struttura di attributi e di topologie. Il modello Network è complementare con quello LRS. A partire da questo modello dati, un modulo di Network Analysis offre delle funzionalità di base: Validazione dei dati: il modello dati Network necessità di connettività del grafo nei suoi componenti (nodi e archi); la verifica topologica di connettività può essere sfruttata per valutare caratteristiche funzionali della rete; • Ricerca di Percorso Ottimo: si tratta di determinare la soluzione al problema di percorso minimo o comunque il più efficace per attraversare una rete passando per una determinata o una serie di località di questa. Il costo, (o , più propriamente, l'impedenza) può essere determinato utilizzando un qualsiasi attributo presente sugli elementi costituenti la rete (archi e nodi), che possa essere quantificato in maniera numerica; ad esempio: gli attributi di "distanza" o di "tempo di percorrenza" lungo un arco del grafo possono essere utilizzati per identificare il minimo percorso in termini di distanza o di tempo lungo una rete viaria. • Tracciamento di Curve di Isoaccessibilità: dato un nodo della rete (o collegato ad essa) viene determinata la curva che unisce tutti i punti sulla rete posti alla stessa distanza (o tempo o costo) dal nodo origine. L'operazione viene iterata per un numero impostato di valori (es. isocrone a 10', 30', 60'). • Individuazione di Service Areas: dati un insieme di nodi sulla rete si determina il bacino di influenza degli stessi in base all'accessibilità reciproca. Alcuni software offrono ulteriori funzionalità avanzate: • Modelli di allocazione ottima: sono i modelli di ricerca operativa che risolvono problemi di ottimizzazione localizzativa del tipo "dati n centri di produzione di beni e m centri di domanda, individuare le posizioni ottime per h centri di distribuzione", oppure "nota la distribuzione della popolazione in una città e la localizzazione degli ospedali, individuare n postazioni di stazionamento per le ambulanze". • Modelli di interazione spaziale: sono i modelli che esprimono la "frizione spaziale" tra due località e si basano sul modello gravitazionale. Detti modelli sono utilizzati nella pianificazione urbanistica e nella pianificazione dei trasporti.
Geocodifica di indirizzi	È la funzionalità che ci consente, dato un elenco di entità contraddistinte da un indirizzo, di posizionarle geograficamente. Perché la funzione sia applicabile devono essere verificate le seguenti condizioni: • bisogna disporre di un grafo sufficientemente accurato nel quale l'informazione sulla toponomastica sia codificata in una modalità standard (ad es. Regione, Provincia, Comune, Frazione, Via, Civico, CAP) e sia consistente ed omogenea; • l'elenco dei dati da geocodificare abbia l'informazione sull'indirizzo normalizzata secondalo stesso standard del grafo; • vi siano ulteriori strati informativi da poter utilizzare per risolvere eventuali ambiguità della toponomastica (confini amministrativi, aree CAP).

Tabella 8.3. Funzionalità di elaborazione GIS.

La strategia di molte software house è di offrire le funzionalità principali sia nelle piattaforme software GIS di "livello Doers" che di "livello Users" differenziate per potenza di calcolo e per funzionalità accessorie.
Un'altra tecnologia da segnalare è quella realizzata da Intergraph Corporation nei suoi software GIS di "piping" delle query. Le query su database, le analisi topologiche, il buffering sono effettuati senza creare fisicamente degli strati informativi ed in cascata, in modo tale che l'utente possa intervenire dinamicamente su qualsiasi passo del processo di elaborazione e salvare come feature solo i risultati del calcolo con risparmio di spazio su disco e possibilità di ricalibrazioni del processo complessivo.

La seguente tabella 8.4 illustra le necessità in termini di funzionalità di elaborazione GIS per le analisi di road ecology.

		Road Ecology			
		Analisi	**Zonizzazione**	**Valutazione**	**Monitoraggio**
Funzionalità GIS	*Capacità di gestire in importazione ed esportazione formati GIS e CAD*	X	X	X	X
	Connettori verso i Web Services OGC	X	X	X	X
	Integrazione con RDBMS spatially enabled	X	X	X	X
	Routine di trasformazione tra sistemi di coordinate geografiche e cartografiche	X	X	X	X
	Funzioni di georeferenziazione avanzata (Rubbersheeting) per dati raster e vettoriali	X	X		
	Analisi spaziale mediante modello raster generalizzato (GRID)	X	X	X	
	Costruzione di reportistica cartografica	X	X	X	X
	Query su database	X	X	X	X
	Analisi di prossimità	X	X	X	X
	Overlay topologico	X	X	X	X
	Buffering	X	X	X	X
	Segmentazione dinamica	X	X		X
	Modellazione tridimensionale	X	X	X	
	Analisi di rete (Network Analysis)	X	X	X	
	Geocodifica di indirizzi				

Tabella 8.4. Funzionalità dei software GIS e Road Ecology

8.2.4 I modelli

Nella lettura scientifica relativa alla landscape ecology si trovano frequenti riferimenti a software per la modellistica integrati/integrabili con i software GIS.
Vi sono quattro famiglie di modelli per l'analisi e la valutazione dei fenomeni di frammentazione:

- Modelli di Dispersione. Sono modelli che simulano i movimenti degli animali nell'ecomosaico. Solitamente sono specie-specifici e, quindi, necessitano di una taratura. Citiamo come esempi GRIDWALK, POLIWALK e SmallSteps. I risultati di questi modelli sono mappe degli scenari temporali di distribuzione degli individui della specie simulata.
- Modelli di Metapopolazione. Si tratta di modelli numerici che simulano la sopravvivenza delle popolazioni locali sfruttando sottomodelli di nascita, morte e migrazione in relazione alla qualità, dimensioni e connettività degli habitat. I modelli sono specie-specifici, validi sia a scala regionale che locale. Tuttavia sono modelli non esplicitamente geografici. Citiamo come esempi METAPHOR, RAMAS e META-X.
- Sistemi Esperti. Sono modelli basati su dati reali degli ecosistemi e del paesaggio che fanno previsioni sulle interazioni tra popolazioni ed ecosistemi. Citiamo come esempi GREINS, LEDESS e LARCH..
- Modelli di Analisi della Frammentazione. Nota la configurazione dell'ecomosaico fornita da un opportuno layer GIS o da un'immagine anche non georeferenziata, questi software calcolano indicatori che quantificano la struttura del paesaggio cioè l'estensione areale e la distribuzione spaziale delle patch. Riportiamo quale esempio Fragstats©, programma sviluppato da Kevin McGarigal e Barbara Marks.
  Fragstats© calcola statistiche diverse per:
  - ogni patch nel mosaico;
  - ogni tipo di patch (classi) nel mosaico;
  - il mosaico del paesaggio nella sua interezza.

Vi sono, poi, i Modelli di individuazione della rete ecologica "potenziale". Questi modelli, implementati all'interno di software GIS, calcolano la configurazione spaziale del reticolo ecologico a partire da una individuazione delle Aree Nucleo come input esterno al modello e da un sottomodello di impedenza territoriale specie-specifico che lega gli usi del suolo, nell'areale di presenza della specie, all'idoneità della specie ad attraversarli. Il modello individua il reticolo che connette le aree nucleo mediante un algoritmo GRID di percorso ottimo (algoritmi GRID cost-path).
Ricordiamo il Modello Eco-Network Analyst del Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS (Università di Roma "La Sapienza" – Intergraph Italia LLC).

8.3 Fasi di analisi e zonizzazione

8.3.1 Premessa

Una rete ecologica individua le aree naturali e seminatali (habitat) che devono essere conservate per mantenere i componenti basilari della diversità biologica della zona in esame.
Occorre uno strumento che offra raccomandazioni per soddisfare un obiettivo minimo di conservazione a favore delle specie in declino, e delle comunità animali e vegetali rare.
Lo strumento GIS può essere impiegato per analizzare set di dati geografici, creando mappe di distribuzione di specie animali e vegetali, e ponendo un particolare accento su quelle minacciate.

I set di dati geografici necessari sono:
- carta di uso del suolo derivata da immagine satellitare a media o alta risoluzione;
- dati georeferenziati sulla presenza delle specie animali e vegetali;
- mappe digitalizzate della proprietà dei terreni (pubblica o privata), con indicazioni sulle eventuali misure di conservazione in atto;
- mappa delle Aree Naturali Protette;
- mappa digitalizzata delle caratteristiche del suolo (pedologica);
- mappa digitalizzata della rete stradale;
- mappa digitalizzata dei confini amministrativi.

Per ottimizzare il lavoro, dal numero complessivo di specie animali e vegetali che vivono nell'area, possono essere estrapolate le "specie chiave" (*focal species*) da usare quale specie target.
A questo proposito si possono sfruttare gli areali di presenza delle specie messe a punto nel Progetto Rete Ecologica Nazionale (Boitani *et al.*, REN, 2002).
Attraverso questa analisi si possono identificare anche gli habitat importanti che al momento non ricevono alcun tipo di protezione.
Si ricordi che una preziosa fonte di informazioni è, infine, costituita dalle zonizzazioni dei Piani Territoriali alle varie scale (Piano Territoriale Provinciale, Piano Paesistico, Piano Regolatore, ecc.)

8.3.2 Database Geografico

Quando si deve realizzare un database geografico, termine che utilizziamo in alternativa a "strato informativo", per identificare il grado di frammentazione e connettività degli spazi aperti, occorre considerare che le aree urbane comprendono una "miscela" complessa di habitat (indigeni ed esotici) che richiede una propria metodologia di classificazione (cfr. Dinetti e Fraissinet, 2001).
La Fase I è un'analisi preliminare dei dati e delle conoscenze ecologiche esistenti, con individuazione di una classificazione per le tipologie di uso del suolo dell'area di studio. Le tipologie di uso del suolo e gli habitat vengono mappati usando codici a colori e codici alfanumerici, tendendo ad individuare le "unità ecologiche".
Nella Fase II si perviene ad una mappatura dettagliata, con l'individuazione delle specie faunistiche e floristiche presenti.
Qualora si disponga di ortofoto satellitari ad altissima risoluzione od aeree aggiornate, si può procedere per fotointerpretazione, sebbene occorra un'integrazione e verifica con sopralluoghi a terra.
Usando il GIS si può porre il problema della dimensione minima delle particelle. Eventualmente, le parcelle più piccole di 0,5 ha possono essere annesse alla particella adiacente di dimensioni maggiori.
La conoscenza della vegetazione è, spesso, l'informazione più utile per comprendere il numero e le specie di animali che possono essere ospitati in una data area.
Esaminando gli attributi delle parcelle in un mosaico urbano, quali possono essere l'ampiezza e le caratteristiche biologiche, è possibile pervenire ad una predizione del loro valore come habitat per le popolazioni di piante spontanee e animali selvatici.
E' necessario un database geografico che identifica gli attributi generali di copertura del suolo, come la connettività tra usi del suolo simili, l'attraversamento dei confini, la similarità dei pattern di vegetazione.
In questa fase si potranno sfruttare le potenzialità del GIS per la generazione di indici e indicatori.

Per calcolare un “Indice di valore come habitat per la fauna” (*Wildlife Habitats Value Index*) si deve dare risalto a:

- copertura della vegetazione
- diversità strutturale
- vegetazione autoctona
- vegetazione con funzione di rifugio (con fogliame vicino a terra che copre una superficie di almeno 30 cm Ø).

8.4 Fase di valutazione

Non è possibile identificare a priori una metodologia generale per le analisi GIS della fase di valutazione.
Come esempio di flusso di lavoro con tecnologie GIS, si riporta una sintesi di una metodologia per le analisi di compatibilità ambientale di progetti di infrastrutture di trasporto messa a punto dal Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS (L. Fonti, A. Fiduccia, Analisi di compatibilità ambientale relativa all’interferenza fra due tracciati ferroviari in Sicilia: Castelbuono-Patti e Castelbuono-Catenanuova-Catania, Atti della VII Conferenza di MondoGIS, Roma, 2005).
La metodologia valuta le modalità di interferenza sul territorio di due tracciati ferroviari connotati dagli elementi del loro progetto preliminare.
La metodologia è stata impostata su due fasi (Figura 8.13).
La prima fase ha riguardato l’analisi di sensibilità dei sistemi territoriali sui quali i due progetti tendono a interferire.
Il territorio è stato analizzato rispetto all’inserimento dell’infrastruttura di trasporto. La Fase 1 si configura come uno screening iniziale delle potenziali sensibilità degli elementi dei sistemi secondo un’ottica per cui l’interferenza delle linee con i sistemi stessi provoca un insieme di “ripercussioni potenziali” date contemporaneamente dagli effetti dovuti al passaggio dell’opera e dalle difficoltà generali dovute al passaggio delle linee. E’ dunque una analisi che tende più alla descrizione che alla valutazione.
I dati di base (Tabella 8.5) sono stati organizzati nei seguenti gruppi di strati informativi:

- il sistema idrogeologico e geologico (SI) (Figura 8.22);
- l’uso del suolo (aree aperte, urbanizzazione,infrastrutture) (US);
- il sistema dei vincoli ambientali e paesistici (SV);
- il sistema antropico (residenze e attività produttive e di servizio alla scala locale) (SA);
- il sistema della rete ecologica (REN e RER).

Quest’ultimo sistema è stato identificato sia mediante la citata Rete Ecologica Nazionale che mediante un algoritmo proprietario e già pubblicato dal Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS[4] (Figura 8.23).
Una opportuna scala di sensibilità è stata calcolata per ciascuno degli strati informativi dei primi quattro sottosistemi e tali valutazioni sono state combinate in un modello di sintesi.
Nella seconda fase, l’obiettivo è stato quello di associare a ciascuno dei due tracciati di studio un parametro complessivo rappresentativo della interferenza globale esercitata sul

[4] A. Fiduccia, L. Fonti, M. Funaro, L. Gregori, S. Rapicetta, S. Reniero (2004) Strutture di informazione geospaziale e processi di conoscenza per l’identificazione della connetività ecosistemica potenziale in Sitzia T. e Remiero S. (a cura di) “Reti ecologiche: una chiave per la conservazione e la gestione dei paesaggi frammentati”, Pubblicazioni del Corso di Cultura in Ecologia, Atti del XL Corso, 2004, Università degli Studi, Padova”.

territorio (modellizzato nelle sue componenti dall'insieme di sottosistemi di cui nella prima parte abbiamo esaminato le sensibilità).
Dunque, la seconda fase della ricerca si è svolta secondo il seguente iter metodologico:

- identificazione delle componenti omogenee dei tracciati;
- valutazione delle criticità dovute alla interferenza fra tronchi omogenei di tracciato e elementi dei sottosistemi ambientali;
- definizione dei pesi delle criticità per tratti omogenei, valutando
- Criticità alta quando l'interferenza indotta dall'intervento produce per le condizioni di sensibilità degli elementi o per la natura stessa delle azioni dell'intervento conseguenze "ambientali" irreversibili sugli elementi (ed è tale da poter escludere azioni di mitigazione).
- Criticità media quando l'interferenza con gli elementi dei sottosistemi ambientali non produce alterazioni eccessive e quando contemporaneamente questi effetti possono essere attenuati con azioni di mitigazione.Criticità bassa quando l'interferenza non produce alterazioni significative degli elementi (diversamente sensibili) dei sottosistemi.
- valutazione complessiva delle criticità per ciascuno dei tracciati.

Le analisi GIS sono state effettuate mediante tecnologia Intergraph GeoMedia ed hanno rappresentato il primo caso di studio di integrazione tra la tecnologia GeoMedia Transportation e GeoMedia Grid.

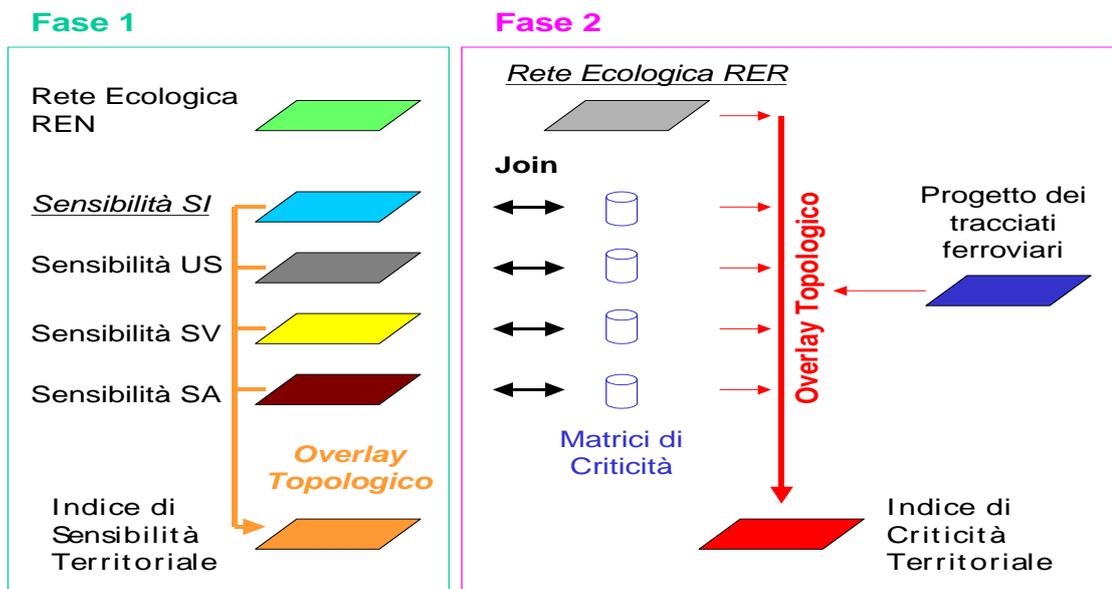



Figura 8.12. Metodologia per le analisi di compatibilità ambientale di progetti di infrastrutture di trasporto messa a punto dal Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS

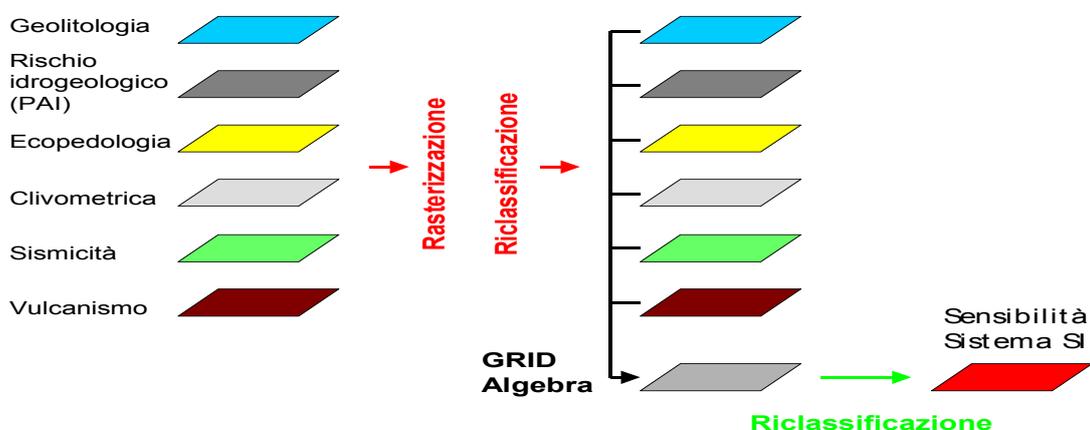



Figura 8.13. Metodologia per le analisi di compatibilità ambientale di progetti di infrastrutture di trasporto messa a punto dal Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS. Sottomodello per il sistema idrogeologico e geologico (SI).

Strato Informativo	Produttore	Sistema di Coodinate spaziali	Tipologia features
Grafo stradale e ferroviario Teleatlas Streetnet Connected	Teleatlas BV	Geografiche WGS 84	Lineari
Uso del Suolo CORINE Land Cover	Unione Europea per tramite delle Regioni	UTM ED 50 zona 32	Poligonali
Uso del Suolo della Regione Sicilia	Regione Sicilia	Gauss Boaga Est	Poligonali
Reticolo Idrografico DBPrior10K	Intesa GIS	UTM 33 WGS 84	Lineari
Laghi DBPrior10K	Intesa GIS	UTM 33 WGS 84	Poligonali
Bacini DBPrior10K	Intesa GIS	UTM 33 WGS 84	Poligonali
Sezioni di Censimento 1991	ISTAT	UTM 33 ED 50	Poligonali
Carta Geologica	Ministero dell'Ambiente	UTM 33 WGS 84	Poligonali
Carta Ecopedologica	Ministero dell'Ambiente	UTM 33 WGS 84	Poligonali
Aree Naturali Protette EUAP	Ministero dell'Ambiente	UTM 32 WGS 84	Poligonali
Aree Naturali Protette IBA	Ministero dell'Ambiente	UTM 32 WGS 84	Poligonali
Aree Naturali Protette RAMSAR	Ministero dell'Ambiente	UTM 32 WGS 84	Poligonali
Aree Naturali Protette SIC	Ministero dell'Ambiente	UTM 32 WGS 84	Poligonali
Aree Naturali Protette ZPS	Ministero dell'Ambiente	UTM 32 WGS 84	Poligonali
Rete Ecologica Nazionale	Ministero dell'Ambiente	UTM 32 ED 50	GRID
Modello Digitale di Elevazione con risoluzione 75 m	APAT - Ministero dell'Ambiente	UTM 33 WGS 84	GRID
Banca Dati ATLAS (Vincoli L. 431/85 e sistema delle acque pubbliche)	Min. per i Beni e le Attività Culturali	UTM 32 ED 50	Poligonali, lineari e puntuali
Aree a Rischio Frane e Alluvioni	AdB Sicilia	Gauss Boaga Est	Poligonali
Carta Tecnica Regionale Numerica della Regione Siciliana	Regione Sicilia	Gauss Boaga Est	CAD

Tabella 8.5. Metodologia per le analisi di compatibilità ambientale di progetti di infrastrutture di trasporto messa a punto dal Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS. Strati Informativi di Base.

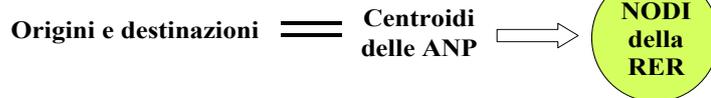
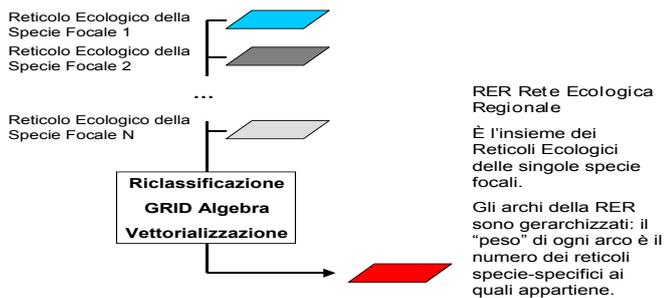
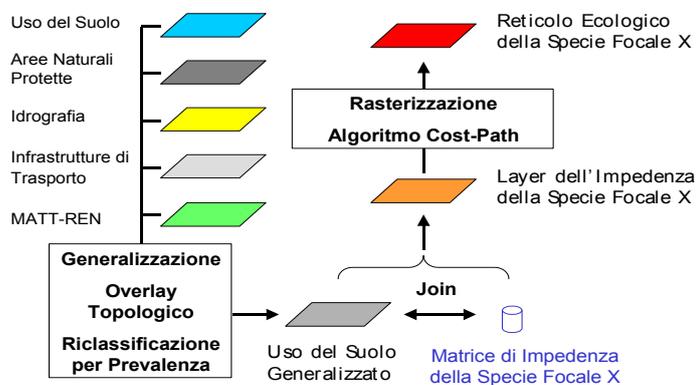



Figura 8.14. Metodologia per l'individuazione del Reticolo Ecologico Potenziale di livello Regionale (RER) (Fonte: Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS, 2005)

8.5 Fase di gestione e monitoraggio

Per la fase di gestione e monitoraggio vale quanto detto per la fase di valutazione e, cioè, che non è possibile proporre una metodologia generale per l'uso delle tecniche GIS.
Valgono, però, le seguenti considerazioni:

- lo strumento GIS messo a punto per le fasi di analisi, zonizzazione e valutazione costituisce l'infrastruttura per la successiva fase di monitoraggio;
- l'infrastruttura GIS di monitoraggio si dovrà interfacciare con le sorgenti di dati di base in continuo aggiornamento (cartografie topografiche, ortoimmagini aeree e satellitari, cartografie di uso del suolo, cartografie tematiche ambientali) fornite dalle SDI della Pubblica Amministrazione Italiana ed Europea (Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, SINA-Net dell'APAT, INSPIRE);
- gli strumenti GIS sono già da oggi facilmente interfacciabili con sensoristica di vario tipo che consente di monitorare in continuo indicatori ambientali (centraline fisse o in movimento, telecamere, palmari GIS con GPS) e sensoristica per il monitoraggio degli spostamento della fauna (radiocollari con GPS).

Gli ultimi due punti sono alla base dello scenario evolutivo tendenziale di integrazione di tutte le sorgenti di dati geospaziali previsto dall'iniziativa Sensor Web Enablement (SWE) dell'Open Geospatial Consortium, Inc. (OGC) ed attualmente in fase di test (vedi ad es. http://www.opengeospatial.org/pub/www/ows4/index.html).

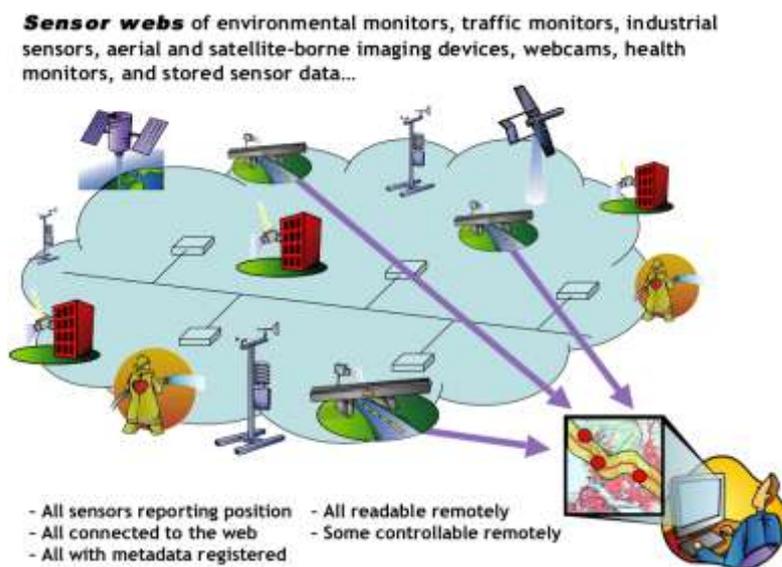



Figura 8.15. Scenario Sensor Web Enablement (Fonte: Open Geospatial Consortium, Inc.)

9 Sviluppi

9.1 Approfondimento e implementazione delle linee guida

Il lavoro effettuato e qui rappresentato ha comportato una raccolta di dati ed esempi su scala internazionale in merito a problematiche e soluzioni relative al tema in oggetto. Tale analisi ha tratto fondamentale frutto dalla peculiare e vasta esperienza già in possesso dei redattori, integrata da specifiche valutazioni tecniche e verifiche aggiornate, specie sulla situazione italiana.
Come è stato chiarito nella premessa, l'obiettivo del lavoro è soprattutto quello di offrire linee guida di base. Un auspicabile sviluppo di strumenti di supporto agli addetti ai lavori, a nostro avviso, potrebbe esplicitarsi secondo diverse azioni, di cui di seguito se ne indicano sinteticamente quelle che riteniamo più importanti.

INTERPRETAZIONE

1. affinamento della parte applicativa GIS tale da perfezionare il rapporto in funzione della produzione manualistica;
2. approfondimento della conoscenza delle problematiche italiane, attraverso raccolta dati locali e sopralluoghi sistematici;
3. successiva produzione di linee guida al monitoraggio per la definizione più accurata e quantitativa di tale situazione;
4. individuazione e mappatura delle interferenze fra la rete ecologica e la rete stradale: realizzazione, attraverso la tecnologia G.I.S., di strumenti per lo studio e l'individuazione delle aree di collegamento ecologico-funzionale, finalizzati alla differenziazione del gradiente di permeabilità biologica in funzione degli interventi di infrastrutturazione lineare;
5. messa a punto di metodologie di analisi puntuale, a supporto degli studi di VIA, ovvero definizione degli indicatori ecologici e di fattori di criticità; modelli interpretativi e di simulazione;
6. valutazione delle integrazioni e sinergie con altre azioni e interventi di mitigazione paesaggistico-ambientale.

INTERVENTO

1. analisi e rassegna dettagliata di *case-study* a livello europeo e individuazione di corrispondenze e trasferibilità a specifiche situazioni italiane;
2. realizzazione di una pubblicazione tecnico-fotografica (album) che illustri le applicazioni europee più rappresentative raccolte con schedatura degli interventi;
3. redazione di una "bibliografia ragionata" di pubblicazioni, studi, progetti a livello internazionale nonché elenco di istituzioni e soggetti operanti nel settore a livello europeo con relativi recapiti;
4. studio delle potenzialità di intervento sulla rete autostradale esistente, con indicazione di massima di tipologie e siti;
5. predisposizione di un manuale per la redazione dei piani di manutenzione e l'attuazione dei relativi interventi;
6. creazione di un sistema informativo APAT per gli utenti interessati, in particolare tramite una sezione sul sito internet, che contenga linee guida,

schede informative, aggiornamenti e un forum di confronto e raccolta dati a livello nazionale;

7. creazione di un gruppo di lavoro di supporto all'APAT per il continuo aggiornamento dei dati, delle tecniche e delle applicazioni avvenute e in corso nonché per l'interpretazione del monitoraggio degli interventi di mitigazione.

Riportiamo nel seguito una proposta sintetica dei contenuti di alcune delle principali azioni ipotizzate.

9.2 Documentazione di casi significativi realizzati all'estero

Come è stato accennato nel Par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, in diversi paesi europei si è agito da tempo per affrontare e limitare le problematiche dell'impatto strade-fauna. Sono stati attuati indagini, piani e numerosi interventi, mettendo a punto metodi e soluzioni di cui se ne rilevata l'efficacia nel tempo. Sono state inoltre prodotte pubblicazioni e documentazione tecnica mirata.
E' quindi senz'altro proficuo far tesoro di tale ricca esperienza.
Fra le azioni successive a queste linee guida, si ritiene quindi opportuno attivare una apposita fase di analisi e studio delle esperienze più significative, cercando di classificarle in funzione delle problematiche, e condizioni e possibilità applicative in Italia. Può nascere per esempio un dossier tecnico-illustrativo quale manuale tecnico complementare e di approfondimento a questo lavoro.
L'attività di documentazione comporterebbe di raccogliere documentazione, individuare i casi più interessanti, effettuare quindi sopralluoghi mirati e coinvolgere per una collaborazione gli enti che li hanno curati. Si raccoglierebbe anche la bibliografia specifica che documenta le esperienze, le azioni, le tecniche, le normative e le modalità operative.

9.3 Prima mappatura criticità nazionale

Sarebbe molto utile disporre di un quadro delle condizioni di criticità (reale e potenziale) per la fauna dal punto di vista della frammentazione ecosistemica e della relativa vulnerabilità. Tale quadro servirebbe ai pianificatori per orientare forme di tutela, mitigazione sulle strutture esistenti e verifiche preliminari di problematicità nella localizzazione delle infrastrutture lineari, ai progettisti per orientare le scelte di alternative di tracciato e di interventi di mitigazione.
Per mettere a punto l'inquadramento su base cartografica (GIS), seppur di massima, occorre sovrapporre i dati su aree protette, siti di importanza e zone di protezione speciale a fini faunistici e, in generale, su ecosistemi, presenze e spostamenti faunistiche; ma si dovrà integrare i dati esistenti da altre informazioni più o meno codificate (p.e. attraverso confronti con esperti, università, enti locali, ecc.) e verifiche sul campo. Potrebbe essere svolto in collaborazione con le ARPA e le regioni.
Senz'altro si tratterebbe di un lavoro piuttosto lungo e impegnativo, ma indubbiamente importante. Questa attività potrebbe essere svolta parallelamente alla documentazione dei casi esteri.

9.4 Studio dei rapporti fra rete stradale e rete ecologica

Tale analisi corrisponde in parte con la precedente.

Siccome i dati sulla rete ecologica in Italia a una scala di medio approfondimento sono scarsi, ovvero limitati ad alcune zone, occorrerebbe completarli lavorando assieme agli enti territoriali preposti (ARPA, regioni, province).
Il prodotto di questa analisi dovrebbe consistere essenzialmente in una mappatura quali-quantitativa (su GIS) che individui i corridoi ecologici e le loro qualità (specie fratture derivanti dalle infrastrutture lineari).

9.5 Formazione e aggiornamento

Affinché si diffonda l'applicazione dei concetti e delle azioni individuate in queste linee guida, è necessario provvedere alla loro divulgazione tecnica, rivolta prevalentemente agli addetti ai lavori, attraverso la produzione di documentazione tecnica e la realizzazione di corsi di formazione.
La materia dell' "ecologia stradale" ("road ecology") dovrebbe essere prevista in tutti i curricula, sia universitari (ingegneria, architettura, agraria, biologia, scienze ambientali, scienze naturali) che di aggiornamento professionale, rivolti a tutti coloro che sono coinvolti, sia dal punto di vista ingegneristico che ecologico, nella progettazione, realizzazione, manutenzione, gestione e monitoraggio delle infrastrutture lineari.
Corsi specifici dovrebbero essere istituiti presso gli uffici preposti degli enti pubblici (Ministeri, Amministrazioni Regionali e Provinciali, Comunità Montane, Enti Parco), le agenzie di gestione (società autostradali, compartimenti ANAS) e le imprese realizzatrici.
In questo panorama, un grosso contributo formativo può essere offerto dal sistema ARPA-APPA.
Si propone nel seguito una possibile articolazione di un corso base, rivolto prevalentemente a tecnici degli enti pubblici. Il range di durata indicato fa riferimento a due ipotesi di periodo complessivo del corso più o meno elevato.

Argomento	**Competenze prevalenti dei docenti**	**Durata (giorni)**
IMPATTI STRADE-FAUNA		
Introduzione alla *road ecology*	Ecologia, territorio, impatto strade-fauna	1-2
Generalità sugli Impatti ambientali delle infrastrutture lineari e stradali in particolare	VIA	1-2
Impatti strade-fauna: nei confronti della biodiversità	Biologia, impatto strade-fauna	1-1,5
Reti ecologiche e deframmentazione del paesaggio	Ecologia	0,5-1
Impatti strade-fauna: nei confronti delle attività umane	Impatto strade-fauna	0,5
ANALISI TERRITORIALE-AMBIENTALE E DELLE CRITICITÀ E ZONIZZAZIONE		
Mappatura rete ecologica	Ecologia	0,5-1
Mappatura tessuto antropico-infrastrutturale	Territorio, urbanistica	0,5-1
Sovrapposizione reti ecologica & antropica: individuazione criticità reali e potenziali	Territorio, cartografia, GIS VIA, ecologia	0,5-1
VALUTAZIONE E INDIRIZZO ALLE SCELTE		

Valutazione preventiva della compatibilità ambientale	VIA, VAS, pianificazione	1-2
Screening territoriale	VIA, territorio	0,5-1
Alternative localizzative	VIA, territorio	0,5-2
Alternative progettuali	VIA, ingegneria applicata	0,5-1
IL PROGETTO STRADALE A MINIMO IMPATTO SULLA FAUNA		
Mitigazione degli impatti sulla fauna	VIA, ecologia	0,5-1
Tipologie di interventi mitigatori	Ingegneria ambientale e naturalistica, ingegneria civile, ecologia, scienze applicate all'ambiente	1-3
Interventi di compensazione ambientale	VIA, ecologia, ingegneria ambientale	0,5-1
Principi per la progettazione delle strade	VIA, ecologia, ingegneria ambientale, architettura del paesaggio	0,5-2
GESTIONE E MONITORAGGIO		
Gestione e manutenzione	Ingegneria civile e gestionale, ingegneria ambientale, scienze applicate all'ambiente	0,5-2
Monitoraggio e taratura azioni	Ingegneria ambientale, scienze applicate all'ambiente, ecologia	0,5-2
APPLICAZIONE DEL GIS NELLE VARIE FASI		
Caratterizzazione territoriale rete ecologica e tessuto antropico	GIS, ecologia	0,5-1
Mappatura tratti infrastrutturali "a rischio incidentalità fauna"	GIS, Impatto strade-fauna, territorio	0,5-1
Esempio di mappaggio dei punti di conflitto	GIS, Impatto strade-fauna	0,5-1

Risultano in totale rispettivamente 13 e 30 giorni. Si possono anche ipotizzare, in parallelo o in alternativa, corsi/convegni o workshop più sintetici, di carattere generale e/o su temi specifici, comunque della durata di 2-3 giorni almeno.

9.6 Attività educative e divulgazione

Un'azione fondamentale è la sensibilizzazione degli automobilisti, che deve avvenire a partire dalle scuole guida, per proseguire con l'uso dei vari media (televisione, radio, stampa, conferenze, depliant, ecc.).

Lo stile di guida e la consapevolezza di incontrare un animale per strada può ridurre notevolmente il numero degli incidenti stradali, con vantaggi sia per la società umana che per la biodiversità.

La divulgazione del tema "strade/fauna" costituisce pertanto uno dei capitoli dell'educazione alla sicurezza stradale.

Gli automobilisti devono essere altresì stimolati a raccogliere dati e informazioni sulla presenza degli animali lungo le strade e sugli incidenti verificati, anche attraverso la compilazione di apposite schede (vedere capitolo “Individuazione dei “tratti a rischio”).

10 Informazioni utili

10.1 Bibliografia specifica

Classificazione degli habitat

Gli habitat secondo la nomenclatura Eunis (Lapresa et al., 2004).

Conoscenze naturalistiche

Conoscenze naturalistiche in Italia (banca dati della flora d'Italia, carte della vegetazione, checklist e distribuzione della fauna, biocenosi marine costiere, habitat prioritari, aree protette, rete ecologica, territoriale, ecc.) (Blasi, 2003).
Atti del Convegno "La conoscenza botanica e zoologica in Italia: dagli inventari al monitoraggio" (Blasi et al., 2004a).

Fauna Italiana inclusa nella Direttiva Habitat (D'Antoni et al., 2003).

Rete ecologica nazionale (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, senza data).

Distribuzione di vertebrati terrestri

Mammiferi d'Italia (Spagnesi e De Marinis, 2002).

Atlante degli uccelli nidificanti in Italia (Meschini e Frugis, 1993).

Atlante della distribuzione geografica e stagionale degli uccelli inanellati in Italia (Macchio et al., 1999).

Uccelli d'Italia (Spagnesi e Serra, 2003, 2004).

Atlante provvisorio degli anfibi e dei rettili italiani (Societas Herpetologica Italica, 1996).

Ulteriori informazioni di base sullo status delle popolazioni di anfibi e rettili sono frammentarie, e solo alcune regioni e province hanno realizzato progetti atlante per raccogliere le informazioni sulla distribuzione delle specie (Carpaneto et al., 2004).

Per l'acquisizione di informazioni alla scala locale, si raccomanda inoltre di fare riferimento a:

- Carte delle vocazioni faunistiche regionali (Amministrazioni Regionali)
- Atlanti (mammiferi, uccelli, anfibi e rettili) a scala regionale, provinciale, comunale, urbana.

Testi di riferimento sulle specie di vertebrati minacciati

Repertorio della fauna Italiana protetta (completo della legislazione nazionale e internazionale) (La Posta, 1999).

Libro rosso degli animali d'Italia. Vertebrati (Bulgarini et al., 1998).

Lista Rossa degli uccelli nidificanti in Italia (LIPU e WWF, 1999).

Aree di interesse naturalistico

Siti per la conservazione della natura designati con strumenti internazionali (Beltran e Delbaere, 1999).

Aree protette (Ministry for the Environment and Territory of Italy, 2004).

Tipologie dei siti Natura 2000 in Italia (Apollonio et al., 2004).

Censimento degli habitat prioritari e la Rete Natura 2000 in Italia (Blasi et al., 2004b).

Aree protette di interesse faunistico (Genghini e Spagnesi, 1997).

Aree importanti per l'avifauna in Italia (Progetto IBA) (Gariboldi et al., 2000).

10.2 Bibliografia consultata

AA.VV., 2003. International Conference on Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure and Presentation of COST action 341 products. Conference map. (Bruxelles 13-15 novembre 2003).

AA.VV., 2004. Abstract Convegno "Infrastrutture viarie e biodiversità. Impatti ambientali e soluzioni di mitigazione" (Pisa, 25 novembre 2004). LIPU, Parma.

Apollonio M., Baldaccini N.E., Blasi C., Bulgarini F., Celada C., Cerfolli F., Cerra M., Corona P.M., Dell'Anna L., Feoli E., Gatto M., Guida C., La Posta A., Maggiore A.M., Manes F., Marchetti M., Morabito A., Paris G., Renzi F., Rizzi V., Rossi R., Rubino T., Solinas M. e N. Tartaglini, 2004. La gestione dei siti Natura 2000 in Italia: linee guida e orientamenti gestionali. In: Blasi C., D'Antoni S., Dupré E. e A. La Posta (eds.). Atti del Convegno "La conoscenza botanica e zoologica in Italia: dagli inventari al monitoraggio". Quaderni di Conservazione della Natura 18. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica, pp. 213-224.

Bacci M., 2004. Rete ecologica e viabilità. In "Verso una rete ecologica. Modelli ed esperienze per la costruzione della rete ecologica in Italia". Servizi Editoriali WWF Italia. Roma.

Bekker G.J., 1995. Handreiking maatregelen voor de fauna langs weg en water. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Utrecht.

Beltran J. e B. Delbaere, 1999. Nature conservation sites designated in application of international instruments at pan-European level. Nature and environment No. 95. Council of Europe Publishing, Strasbourg.

Bickmore C., 2003. Code of practice for the introduction of biological and landscape diversity considerations into the transport sector. Nature and environment No. 131. Council of Europe Publishing, Strasbourg.

Blasi C. (ed.), 2003. Conoscenze naturalistiche in Italia. Direzione per la Conservazione della Natura, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma.

Blasi C., D'Antoni S., Dupré E. e A. La Posta (eds.), 2004a. Atti del Convegno "La conoscenza botanica e zoologica in Italia: dagli inventari al monitoraggio". Quaderni di Conservazione della Natura 18. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica.

Blasi C., Marchetti M., Di Marzio P. e N. Tartaglini, 2004b. Il censimento degli habitat prioritari e la rete Natura 2000 in Italia. In: Blasi C., D'Antoni S., Dupré E. e A. La Posta (eds.). Atti del Convegno "La conoscenza botanica e zoologica in Italia: dagli inventari al

monitoraggio”. Quaderni di Conservazione della Natura 18. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio - Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica, pp. 199-211.

Boriani M.L. e A.L. Monti, 2005. Fasce di ambientazione e corridoi ecologici per mitigare l’impatto delle strade e favorire la biodiversità. Il Divulgatore 28 (6). Provincia di Bologna.

Bulgarini F., Calvario E., Fraticelli F., Petretti F. e S. Sarrocco (eds.), 1998. Libro rosso degli animali d’Italia. Vertebrati. WWF Italia, Roma.

Carpaneto G.M., Bologna M.A. e R. Scalera, 2004. Towards guidelines for monitoring threatened species of amphibians and reptiles in Italy. Italian Journal of Zoology 71 Suppl. 1: 175-183.

Carsignol J., 1999. The wildlife problem in motorway project development, construction and operation. CETE de l’Est, Metz.

Curzydło J., 1999. International Seminar Ecological passes for wildlife and roadside afforestation as necessary parts of modern road constructions (motorways and railways roads). Kraków (7-10 settembre 1999). Katedra Ekologicznych Podstaw Inzynierii, Krakowie.

Cox J., Kautz R., MacLaughlin M. e T. Gilbert, 1994. Closing the gaps in Florida’s wildlife habitat conservation system. Florida Game and Fresh Water Fish Commission, Tallahassee.

D’Antoni S., Dupré E., La Posta S. e P. Verucci (eds.)., 2003. Fauna Italiana inclusa nella Direttiva Habitat. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma.

Dawson D., 2005. Making connections. Urbio 8: 6-7.

de Sadeleer N., Fauconnier J.-M., Kurtstjens G., Berthoud G. e R.J. Cooper, 2003. Studies on transport and biological and landscape diversity. Nature and environment No. 132. Council of Europe Publishing, Strasbourg.

Dinetti M., 2000. Infrastrutture ecologiche. Il Verde Editoriale, Milano.

Dinetti M. (ed.), 2005. Atti del Convegno “Infrastrutture viarie e biodiversità. Impatti ambientali e soluzioni di mitigazione”. Pisa, 25 Novembre 2004. Provincia di Pisa e LIPU. Stylgrafica Cascinese, Cascina (PI).

Dinetti M. e M. Fraissinet, 2001. Ornitologia urbana. Calderini-Edagricole, Bologna.

Dinetti M., 2002. Strade e fauna selvatica: come migliorare la sicurezza. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e LIPU. Bandecchi e Vivaldi, Pontedera (PI).

Dinetti M., 2005. Infrastrutture e biodiversità: iniziative italiane e progetto europeo COST Action 341. Regioni&Ambiente 6 (2): 62-64.

Directorate for Nature Management, 1994. Roads and Nature. Norwegian Public Road Administration Handbooks N. 192, Oslo.

Donnelly R.E. e J.M. Marzluff, 2004. Designing research to advance the management of birds in urbanizing areas. In: Shaw W.W., Harris L.K. e L. VanDruff (eds.). Proceedings of the 4th International Symposium on Urban Wildlife Conservation. The University of Arizona, Tucson, pp. 114-122.

Dumont A.-G., Schneider S. e M. Tille, 1999. Conférence Faune et Trafics. Proceedings. LAVOC, Ecole Polytechnique Féderale de Lausanne, Lausanne.

EEA, 2000. Are we moving in the right direction? Indicators on transport and environment integration in the EU. TERM 2000. Environmental issues series No. 12. European Environment Agency, Copenaghen.

Farrell M.C., 2003. Using a geographical information system to evaluate contribution factors to deer-vehicle collisions. In: Fagerstone K.A. e G.W. Witmer (eds.). Proceedings of the 10th Wildlife Damage Management Conference, p. 427.

Ferguson H.L., Robinette K. e M. Stevenson, 2004. Searching for the best science available: a method for identifying a corridor-open space system for land use planning. In: Shaw W.W., Harris L.K. e L. VanDruff (eds.). Proceedings of the 4th International Symposium on Urban Wildlife Conservation. The University of Arizona, Tucson, pp. 347-356.

Forman R.T.T. (ed.), 2003. Road ecology. Science and solutions. Island Press, Washington.

Freeman C. e O. Buck, 2003. Development of an ecological mapping methodology for urban areas in New Zealand. Landscape and Urban Planning 63: 161-173.

Gariboldi A., Rizzi V. e F. Casale (eds.)., 2000. Aree importanti per l'avifauna in Italia. LIPU, Parma.

Genghini M. e M. Spagnesi, 1997. Le aree protette di interesse faunistico in Italia. Ricerche di Biologia della Selvaggina 100.

Hagood S. e M. Trocmé, 2003. The impact of highways on wildlife and the environment: a review of recent progress in reducing roadkill. In: Salem D.L. e A.N. Rowan (eds.). The state of animals II 2003. Humane Society Press, Washington, pp. 131-148.

Huijser M.P., 2000. Life on the edge. Hedgehog traffic victims and mitigation strategies in an anthropogenic landscape. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen.

Jacobi Jayne & Company, 2004. Wild birds news. Jacobi Jayne & Company, Canterbury.

KARCH, 1996. Anfibi e sistemi di conduttura delle acque reflue. Canton Argovia, Dipartimento delle costruzioni, Aarau e Baden.

Keeley B.W. e M.D. Tuttle, 1999. Bats in American bridges. Bat Conservation International Inc., Austin.

Kuijken E., 2003. The restoration of sites and ecological corridors in the framework of building up the Pan-European Ecological Network, with examples of best practices from European countries. Nature and environment No. 135. Council of Europe Publishing, Strasbourg.

Iuell B. (ed.), 2003. Wildlife and Traffic: A European Handbook for identifying conflicts and designing solutions. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.

Iuell B., Bekker G.J., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., Hlaváč V., Keller V., Rosell C., Sangwine T., Tørsløv N., Wandall le Maire B. (eds.), 2003. COST 341 Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Wildlife and Traffic: a European Handbook for identifying conflicts and designino solutions. KNNV Publishers.

La Posta S., 1999. Repertorio della fauna Italiana protetta. Servizio Conservazione della Natura, Ministero dell'Ambiente, Roma.

Lapresa A., Angelini P. e I. Festari, 2004. Gli habitat secondo la nomenclatura Eunis: manuale di classificazione per la realtà italiana. Rapporti 39. APAT, Roma.

LIPU & WWF, 1999. Nuova Lista Rossa degli uccelli nidificanti in Italia. Rivista italiana di Ornitologia 69 (1): 3-43.

Livingston M., Shaw W.W. e L.K. Harris, 2003. A model for assessing wildlife habitats in urban landscapes of eastern Pima County, Arizona (USA). Landscape and Urban Planning 64: 131-144.

Malcevschi S., Bisogni L.G. e A. Gariboldi, 1996. Reti ecologiche ed interventi di miglioramento ambientale. Il Verde Editoriale, Milano.

Manni A., 2000. L'incidentalità da fauna in Provincia di Modena: aspetti amministrativi, di pianificazione e tecnici. Convegno e Tavolo Aperto Fauna & Viabilità (Modena, 5 maggio 2000). Dattiloscritto, 10 pp.

Muller S. e G. Berthoud, 1996. Fauna/Traffic safety. Manual for civil engineers. Départment de génie civil (LAVOC), Ecole Polytechnique Féderale de Lausanne, Lausanne.

Macchio S., Messineo A., Licheri D. e F. Spina, 1999. Atlante della distribuzione geografica e stagionale degli uccelli inanellati in Italia negli anni 1980-1994. Biologia e Conservazione della Fauna 103.

Meschini E. e S. Frugis (eds.), 1993. Atlante degli uccelli nidificanti in Italia. Supplemento alle Ricerche di Biologia della Selvaggina 20.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, senza data. Rete ecologica nazionale. Un approccio alla Conservazione dei Vertebrati Italiani. Direzione per la Conservazione della Natura. CD-Rom.

Ministry for the Environment and Territory of Italy, 2004. Map of protected areas registered in the official list. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

Oggier P., Righetti A. e L. Bonnard (eds.), 2001. Zerschneidung von Lebensräumen durch Verkehrsinfrastrukturen COST 341. Schriftenreihe Umwelt Nr. 332. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Verkehr, Bundesamt für Strassen, Bern.

Piepers A.A.G., 2001. Infrastructure and nature; fragmentation and defragmentation. Dutch State of the Art Report for COST activity 341. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Delft.

Rodts J., Holsbeek L. e S. Muyldermans, 1998. Dieren onder onze wielen. Fauna en wegverkeer. Vubpress, Bruxelles.

Rosell Pagès C. e J.M. Velasco Rivas, 1999. Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient.

Scoccianti C., 2001. I tombini, i pozzetti stradali, le cisterne e altre infrastrutture come causa di caduta, intrappolamento e morte della fauna minore nelle campagne e nella periferia delle città. L'esempio di alcune popolazioni di anfibi in un'area della Piana

Fiorentina: azioni di salvaguardia e tecniche di prevenzione. Rivista di Idrobiologia 40 (1): 187-197.

Sherwood B., Cutler D. e J. Burton (eds.)., 2002. Wildlife and roads. The ecological impact. Imperial College Press, London.

Societas Herpetologica Italica, 1996. Atlante provvisorio degli anfibi e dei rettili italiani. Annali del Museo Civico di Storia Naturale "G. Doria" 91: 95-178.

Spagnesi M. e L. Zambotti, 2001. Raccolta delle norme nazionali e internazionali per la conservazione della fauna selvatica e degli habitat. Quaderni di Conservazione della Natura 1. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica.

Spagnesi M. e De Marinis A.M. (eds.), 2002. Mammiferi d'Italia. Quaderni di Conservazione della Natura 14. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica.

Spagnesi M. e L. Serra, 2003. Uccelli d'Italia. Quaderni di Conservazione della Natura 16. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica.

Spagnesi M. e L. Serra, 2004. Uccelli d'Italia. Quaderni di Conservazione della Natura 21. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica.

Spellerberg I.F., 2002. Ecological effects of roads. Science Publishers, Enfield.

Stenberg K., 2004. A wildlife habitat network: designation and implementation. In: Shaw W.W., Harris L.K. e L. VanDruff (eds.). Proceedings of the 4th International Symposium on Urban Wildlife Conservation. The University of Arizona, Tucson, pp. 287-289.

Trocmé M. (ed.), 2003. COST Action 341. Habitat fragmentation due to transportation infrastructure. The European review. EUR 20721. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Trocmé M., 2004. Frammentazione degli habitat naturali causata dalle infrastrutture viarie. Risultati dell'azione COST 341 e applicazioni in Svizzera. Relazione presentata al Convegno "Infrastrutture viarie e biodiversità. Impatti ambientali e soluzioni di mitigazione". Pisa 25/11/2004.

Trocmé M., Cahill S., de Vries J.G., Farrall H., Folkeson L.G., Hichks C. e J. Peymen (eds.), 2003. COST 341 – Habitat Fragmentation due to transportation infrastructure: The European Review. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.

Turner W.R., Nakamura T. e M. Dinetti, 2004. Global urbanization and the separation of humans from nature. BioScience 54 (6): 585-590.

Vägverket, senza data. Fauna passages at roads. Swedish National Road Administration, Borlänge.

VSS (Association Suisse des professionnels de la route et des transports), 2004. SN 640692. Faune et traffic. Alanyse faunistique. VSS, Zürich.

10.3 Siti web

Elenco ufficiale delle aree protette
http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/scn/sap/sap.asp
Aree protette
www.parks.it
Checklist delle specie della fauna italiana: distribuzione in sette settori del territorio nazionale, status, possibilità di mappatura e della distribuzione di ogni *taxon* e di sovrapposizione con diversi *layer* in formato *shapefile*, possibilità di esportare le mappe di distribuzione in programmi GIS come *Arcview* e *MapInfo*.
http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/scn/cn/flora_fauna/checklist_fauna_progetto.asp
Atlanti ornitologici locali
http://www.ciso-coi.org/

SCHEDE TECNICHE

ELENCO:

- SCHEDA 1A - Barriere Anfibi
- SCHEDA 1B - Barriere Ungulati
- SCHEDA 1C - Barriere Porta di fuga/rampa di fuga
- SCHEDA 2A1 – Attraversamenti - Inferiori - Estensione Viadotto
- SCHEDA 2A2 – Attraversamenti – Inferiori - Tunnel Anfibi
- SCHEDA 2A3 – Attraversamenti – Inferiori – Specie media taglia
- SCHEDA 2A4 – Attraversamenti – Inferiori – Specie grossa taglia
- SCHEDA 2A5 – Attraversamenti – Inferiori – Canale sotterraneo ecologico ("eco-culvert")
- SCHEDA 2B1 – Attraversamenti – Superiori – Ponte faunistico
- SCHEDA 2B2 – Attraversamenti – Superiori – Ecodotto
- SCHEDA 2B3 – Attraversamenti – Superiori – Ponte Paesaggistico
- SCHEDA 3A – Segnalatori – per automobilisti (segnali stradali)
- SCHEDA 3B – Segnalatori – per animali (catarifrangenti)
- SCHEDA 4A – Strutture pericolose – Pannelli fonoassorbenti trasparenti
- SCHEDA 4B – Strutture pericolose – risalite per pozzetti/chiusini e cordoli
- SCHEDA 4C – Strutture pericolose – new jersey

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 1A

Barriere – Anfibi

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: evitare l'attraversamento delle strade da parte degli anfibi, con relativo pericolo di schiacciamento da parte dei veicoli. Convogliare gli anfibi verso i sottopassi..

Target faunistico: fauna "minore" (in particolare anfibi quali rospi e rane).

Condizioni applicative tipiche: strade periurbane ed extraurbane, in particolare se limitrofe a zone umide quali stagni, laghetti, paludi, torrenti, fiumi, canali, fossi.

Tecniche impiegabili: allestimento di barriere antiattraversamento permanenti ai bordi delle strade.

Materiali: moduli lisci realizzati in plastica riciclata, calcestruzzo, ondulina o metallo (alluminio, ferro zincato). Le reti non sono idonee perché possono essere scalate.

Modalità di esecuzione: se lo spazio lo consente, è preferibile posizionare le barriere a formare serie di "V" consecutive, in modo da convogliare gli anfibi verso i tunnel di attraversamento, che devono essere allestiti nei vertici. La particolare conformazione e collocazione delle barriere (inclinate e in aggetto verso la direzione di arrivo degli anfibi) impedisce loro di raggiungere la strada, e al tempo stesso permette ad eventuali individui presenti in carreggiata di raggiungere il lato campagna, senza restare intrappolati. Questo si ottiene ricoprendo con terreno la barriera sul lato della strada. Al termine della barriera occorre un elemento a forma di "U" per indurre gli anfibi a tornare indietro (verso il tunnel più vicino), senza spingersi più avanti, verso la strada.

Dimensioni tipo: altezza 40-50 cm fuoriterra, e interrata per 5-10 cm.

Aspetti manutentivi: occorre uno sfalcio periodico dell'erba, per evitare che le erbe possano permettere agli anfibi di scavalcare la barriera.

Varianti: barriere di tipo temporaneo (alte 50 cm fuoriterra e realizzate con tavole di legno o con fogli di polietilene sorretti da paletti posti a 1,5 metri di distanza) possono essere disposte con il medesimo scopo, nelle stagioni di intensa attività migratoria degli anfibi (principalmente da fine gennaio a fine aprile, e secondariamente tra fine estate e inizio autunno).

COSTI : secondo l'esperienza della Provincia di Modena il costo (dati 2000) per reti di convogliamento sotto guard-rails è di circa € 10,00/ml, mentre per reti di convogliamento su supporti di circa € 15,00/ml.

Elementi prefabbricati in calcestruzzo polimerico (lunghezza 50 cm, altezza 45 cm) costano € 34,00.

La barriera mobile (kit di 25 metri altezza 40 cm, e 15 supporti di metallo zincato) costa € 365,00.

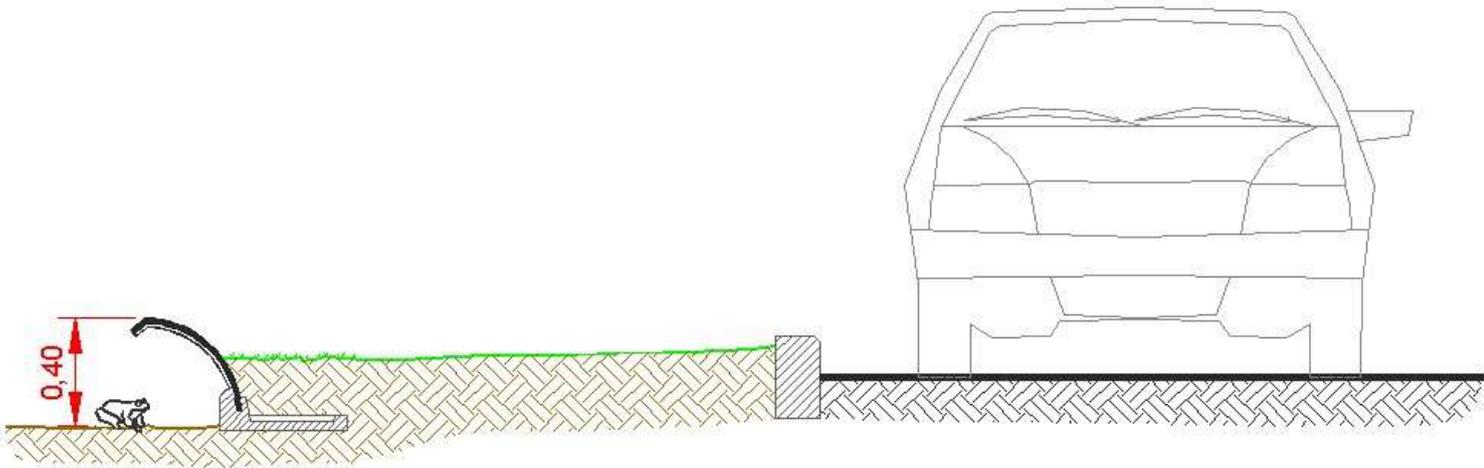
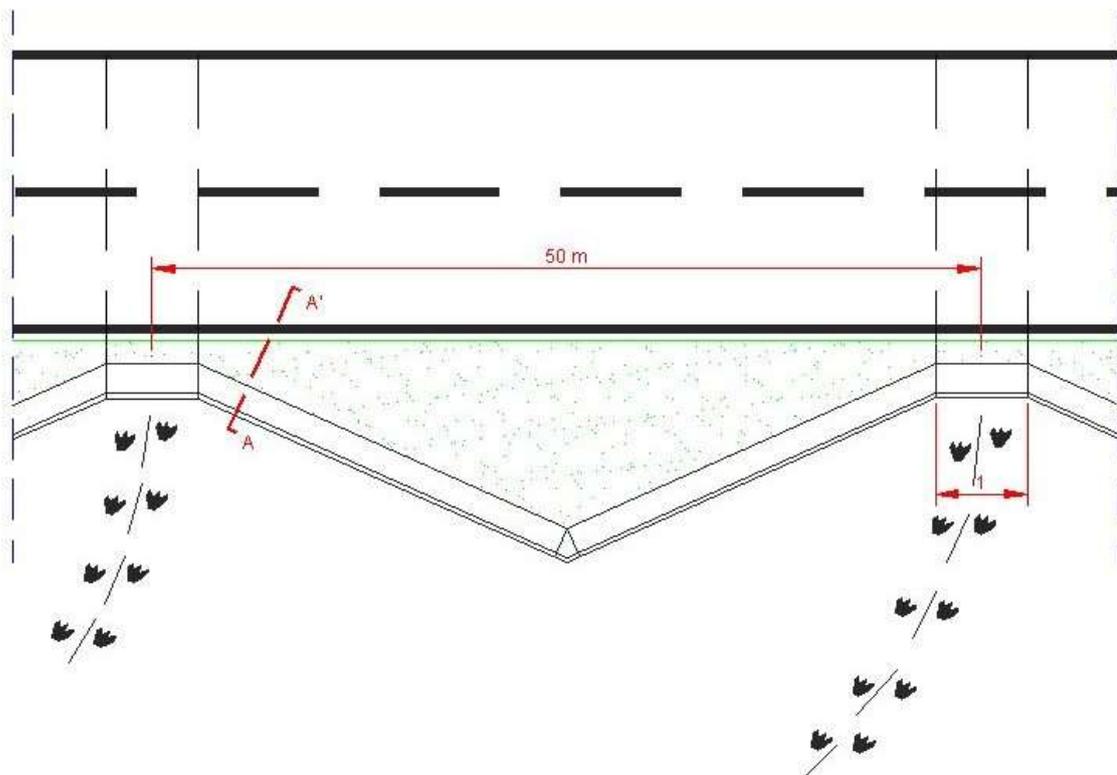
Nel Regno Unito una barriera permanente per anfibi lunga 980 metri è costata € 40.000,00.

Sezione di recinzione per Anfibi (ridisegnato e modificato da: Rosell Pagès e Velasco Rivas, 1999)

Planimetria della recinzione per Anfibi con indicato il tunnel di sottopasso

Foto di una barriera per Anfibi lungo una strada presso Yverdon (Svizzera). Autore M. Dinetti.

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 1B

Barriere – Ungulati

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: evitare agli animali di attraversare la strada, con rischio di pericolosi incidenti stradali.

Target faunistico: tutte le categorie, ed in particolare mammiferi di grossa taglia (Ungulati).

Condizioni applicative tipiche: strade, superstrade e autostrade extraurbane con elevato volume di traffico, soprattutto se vicine a boschi ed aree protette. Tratti stradali dove sono stati rilevati numerosi incidenti stradali con animali.

Tecniche impiegabili: allestimento di recinzioni dedicate su entrambi i lati della strada.

Materiali: pali in legno o metallo, rete metallica zincata e elettrosaldata, a maglia graduata.

Modalità di esecuzione: la rete deve essere fissata sui pali dal lato opposto alla strada. Occorre raccordare con cura la recinzione alle opere d'arte, evitando di lasciare spazi accessibili in coincidenza di altre strade, canali, ponti, ecc. La parte inferiore della rete deve essere interrata per 20 cm onde evitare lo scavo da parte degli animali. Il terreno sotto alla rete deve essere livellato per evitare che restino avvallamenti dove possono passare gli animali. L'estensione della recinzione deve essere tale da non indurre gli animali ad aggirarla (si deve sviluppare per 0,5-1 km oltre le zone di maggior presenza) e deve guidarli verso i punti di attraversamento.

Dimensioni tipo: altezza minima della rete 1,50 metri (per Cinghiale), consigliata fino a 2,50 metri (per Capriolo, Daino e Cervo). La parte più bassa (per un'altezza di 40 cm) deve avere maglia di 20x20 mm, in funzione della fauna "minore". La restante parte fino a 1 metro di altezza avrà maglia di 25x50 mm in funzione dei piccoli mammiferi, e poi fino ad un'altezza di 1,5-2 metri maglia di 150x150 mm in funzione degli Ungulati. I pali in legno devono avere sezione di 8x10 cm, se in metallo un diametro di 2''. La distanza tra i pali sarà di 3 metri se la specie target è il Cinghiale, di 4-6 metri se la specie target è il Capriolo o il Cervo.

Aspetti manutentivi: per garantire la funzionalità della struttura occorre riparare tempestivamente buchi nelle e sotto le reti, pali storti o caduti.

Varianti: una siepe folta (non formata da essenze appetibili dagli animali) alta minimo 1,5 metri, e posta a circa 1 metro dalla recinzione (quest'ultima sul lato strada), aumenta l'efficacia della barriera, soprattutto rispetto ad animali abili saltatori quali il Capriolo.

Commenti: se è presente soltanto la recinzione, essa costituisce una barriera biologica nei confronti degli spostamenti degli animali. Devono essere pertanto previsti idonei attraversamenti (minimo ogni 1,5 km).

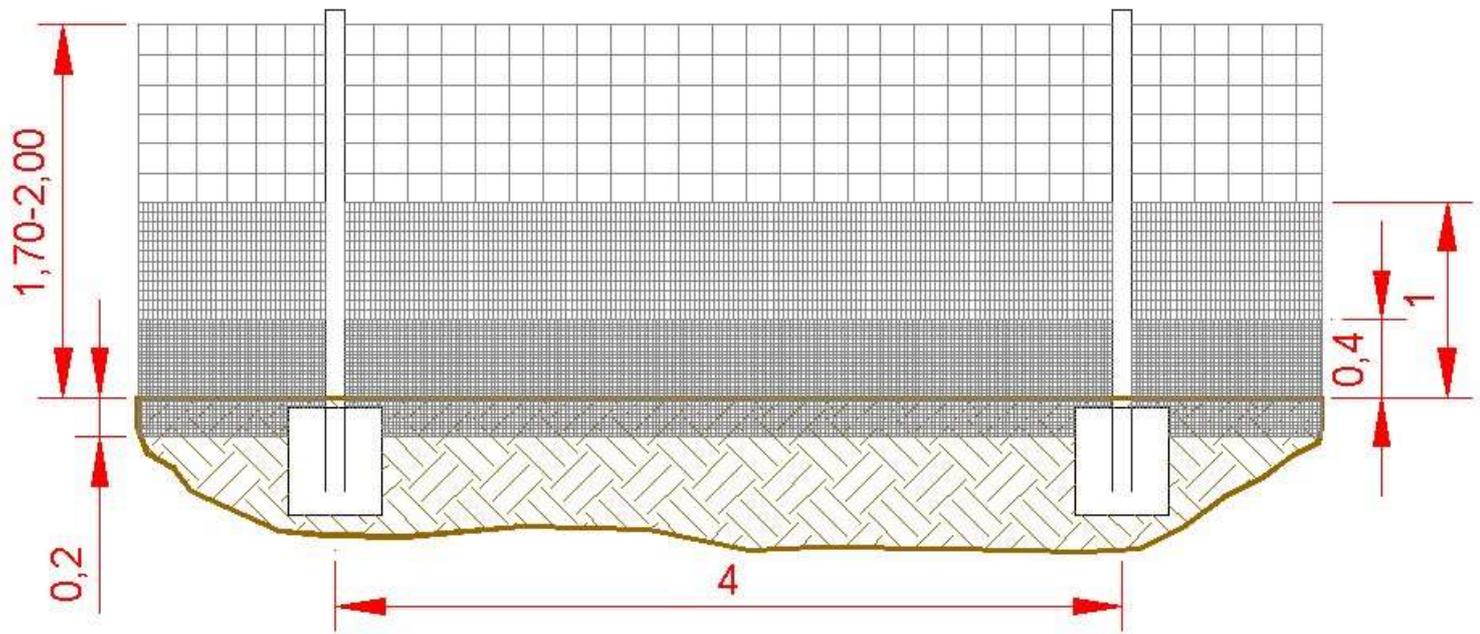
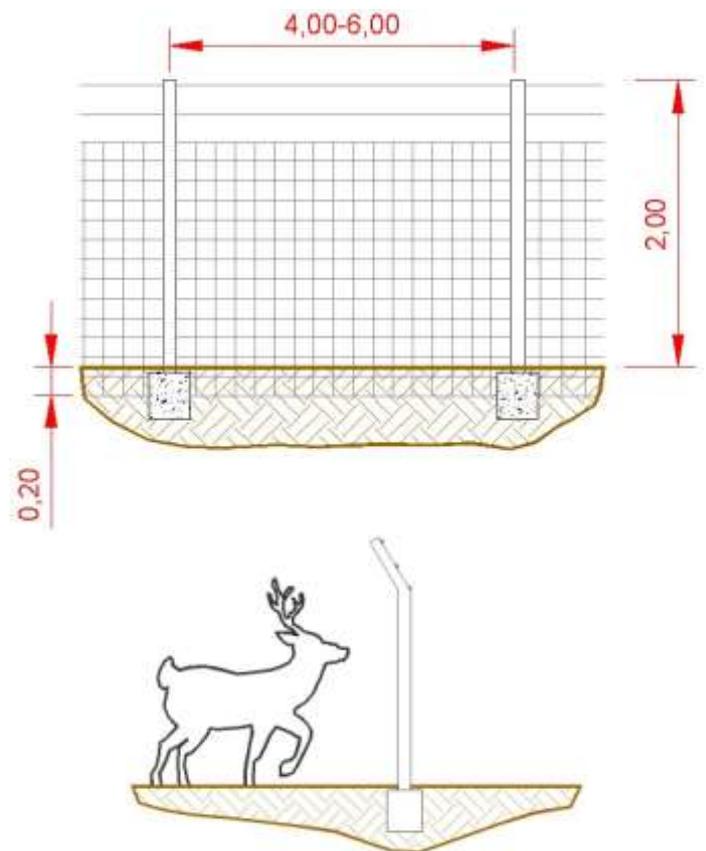
COSTI: € 14,00-17,00/ml (materiali e posa in opera); recinzione 2,5 metri di altezza € 18,00/ml (materiali e posa in opera)(Olanda, dati 2005). L'allestimento di una recinzione per Tasso lunga 3300 metri su entrambi i lati è costata € 72.500,00.

Prospetto di una recinzione a maglia variabile per Ungulati (ridisegnato e modificato da: Rosell Pagès e Velasco Rivas, 1999)

Foto di una recinzione a maglia variabile per Ungulati (M. Dinetti).

Prospetto e sezione di una recinzione per Cervidi
(ridisegnato e modificato da: Rosell Pagès e Velasco Rivas, 1999)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 1C

Barriere – Porta di fuga/rampa di fuga

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: consentire agli animali che si fossero spinti all'interno della recinzione (lato strada) di uscire verso l'ambiente esterno.

Target faunistico: specie di media e grossa taglia.

Condizioni applicative tipiche: strade, superstrade e autostrade dove è presente una recinzione.

Tecniche impiegabili: inserimento di porte a senso unico e di strutture di scavalcamento nell'ambito delle recinzioni.

Materiali: pali di sostegno, porte o cancelletti in legno o metallo. Terrapieni con accesso inclinato, sorretto da tavole di legno o pietre per il salto.

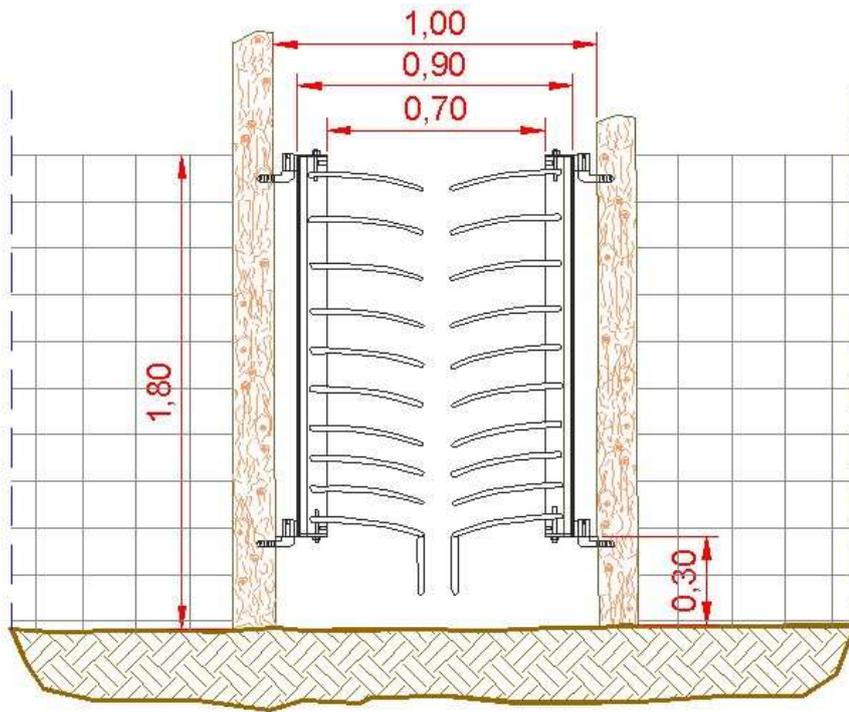
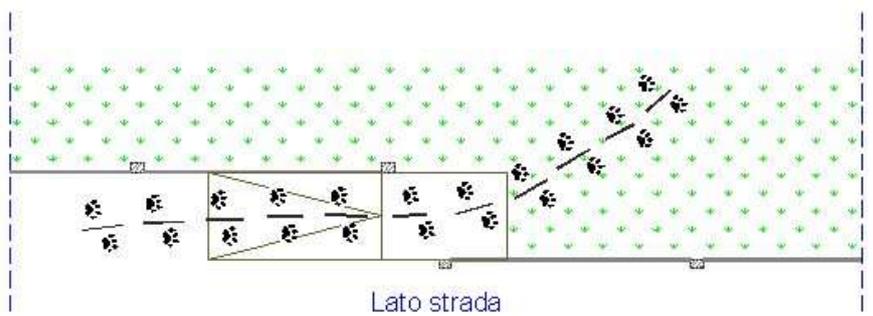
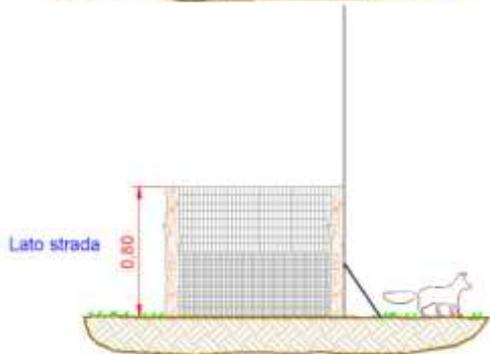
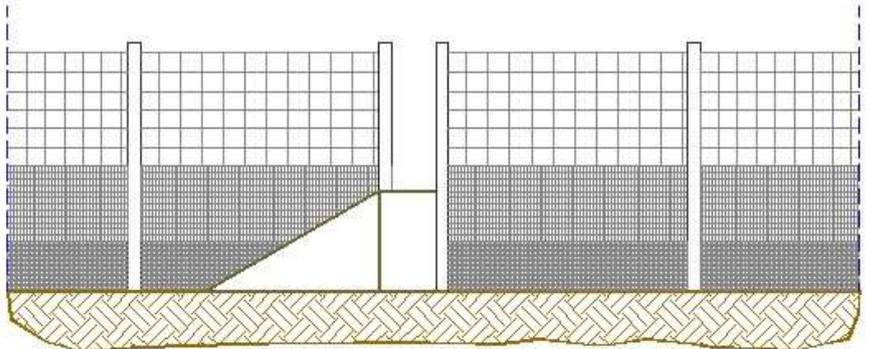
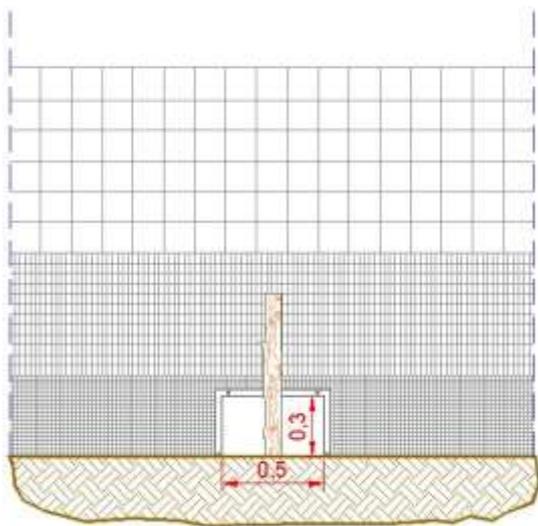
Modalità di esecuzione: queste strutture sono necessarie almeno ogni 400 metri di recinzione, ma nei punti molto frequentati da specie di media taglia (es. Tasso) occorrono a distanza di 50 metri.

Dimensioni tipo: pali di sostegno di 1,5-2 metri di altezza (legno sezione 10x10 cm oppure metallo 2'' di diametro).

Aspetti manutentivi: occorre un'ispezione periodica per assicurare il corretto funzionamento delle porte.

Varianti: si possono realizzare porte di varie dimensioni ad uso di mammiferi di media taglia (es. Tasso) oppure per quelli di grandi dimensioni come gli Ungulati.

Commenti: la porta si deve aprire in un unico senso, vale a dire dal lato della strada verso l'ambiente naturale laterale. Il salto viene realizzato internamente alla recinzione (lato strada).

COSTI : porta di fuga per Tasso € 425,00 per materiali e posa in opera (Olanda,dati 2005).

Prospetto di un cancello a senso unico per Cervidi (ridisegnato e modificato da: Reed et alii., 1974)

Prospetto e sezione di una porta di fuga per Mammiferi di media taglia (Tasso, etc.) (ridisegnato da: Rosell Pagès e Velasco Rivas, 1999).

Prospetto e planimetria di una rampa di fuga per Mammiferi di grossa taglia (ridisegnato e modificato da: Rosell Pagès e Velasco Rivas, 1999)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA’

SCHEDA 2A1

Attraversamenti - Inferiori – Estensione viadotto

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: evitare la frammentazione degli ecosistemi. Permettere agli animali la libera circolazione sul territorio.

Target faunistico: tutte le categorie.

Condizioni applicative tipiche: depressioni del terreno in presenza di vallette, corsi d’acqua, zone soggette ad allagamento anche periodico.

Tecniche impiegabili: realizzazione di viadotti “classici”.

Materiali: opere d’arte in cemento armato.

Modalità di esecuzione: il terreno sotto al viadotto deve essere naturale, possibilmente con presenza di vegetazione. Un percorso di ceppi e rami di albero o di pietre facilita i movimenti degli animali.

Dimensioni tipo: altezza minima sotto al viadotto 5 metri, luce minima tra i piloni 7 metri. In ambienti forestali occorre un’altezza minima di 10 metri per garantire la continuità della vegetazione.

Aspetti manutentivi: negli spazi sotto al viadotto si deve evitare la presenza di ostacoli quali recinzioni, ed anche il deposito di materiali vari che potrebbero ostacolare o infastidire i movimenti degli animali. Anche il disturbo antropico deve essere ridotto al massimo.

Varianti: anche i ponti ed i piccoli viadotti che scavalcano canali, torrenti ed altri corsi d’acqua devono essere progettati in modo che le spalle si trovino arretrate rispetto alle sponde, in maniera tale da lasciare due ampie banchine asciutte, utili alla fauna terrestre per sottopassare la strada.

Commenti: per evitare la frammentazione ambientale e l’effetto “barriera” della strada, è preferibile realizzare viadotti invece che terrapieni. Diversamente da quanto avviene in un tunnel o in un sottopasso, il microclima che si realizza sotto un viadotto differisce meno rispetto all’ambiente circostante. Si tratta pertanto di una tipologia indicata per le specie poco adattabili.

COSTI : non sussistono costi aggiuntivi alla realizzazione dell’opera d’arte.

Viadotto dell’Autostrada A12 Genova-Rosignano in località Coltano (PI) (M. Dinetti)

Viadotto dell’Autostrada del Sole A1 in località Calenzano (FI) (M. Bacci).

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 2A2

Attraversamenti - Inferiori – Tunnel anfibi

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: impedire l'isolamento tra sotto-popolazioni di anfibi, garantendo la possibilità di un attraversamento in sicurezza della strada.

Target faunistico: anfibi, fauna terrestre di piccola taglia.

Condizioni applicative tipiche: strade, superstrade e autostrade. In particolare nei tratti interessati da fenomeni di migrazione primaverile di massa da parte degli anfibi (Rospo, ecc.) diretti alle zone umide usate per riprodursi (stagni, laghetti, ecc.).

Tecniche impiegabili: allestimento di tunnel di sottopasso a "doppio senso" (double way) in quanto un unico tubo serve entrambe le direzioni di spostamento degli animali.

Materiali: tubi di cemento, scatolare in metallo.

Modalità di esecuzione: vanno posizionati ogni 50 metri (ogni 100 metri se le barriere laterali sono disposte a forma di "V"), in corrispondenza di fossi e siepi, collegandoli alle barriere laterali di invito. La pendenza dell'1% impedisce ristagni consistenti di acqua all'interno. Sul fondo occorre uno strato di sabbia, terra e humus.

Dimensioni tipo: tunnel Ø 30-200 cm (1 metro di Ø oppure sezione quadrata larga 1 metro e alta 0,75 metri sono le dimensioni ottimali). Sono preferibili le sezioni quadrate a quelle circolari, in quanto forniscono una superficie calpestabile più ampia.

La lunghezza può arrivare fino a 50 metri.

Aspetti manutentivi: occorre assicurare che non vi siano ristagni permanenti di acqua, oppure che si accumulino detriti o rifiuti che impedirebbero il transito degli animali. Per questo motivo sono necessarie 2-10 ispezioni all'anno.

Varianti: le strutture con griglia superiore sono meno indicate a causa del rumore causato dai veicoli e l'infiltrazione di acqua e detriti. I sottopassi a "senso unico" (one way) devono essere disposti accoppiati, e quindi risultano più costosi e di più complessa realizzazione, senza mostrare maggiore efficacia.

Commenti: facilmente realizzabili in strade su rilevato, di più difficile esecuzione in situazioni a mezza costa e in trincea.

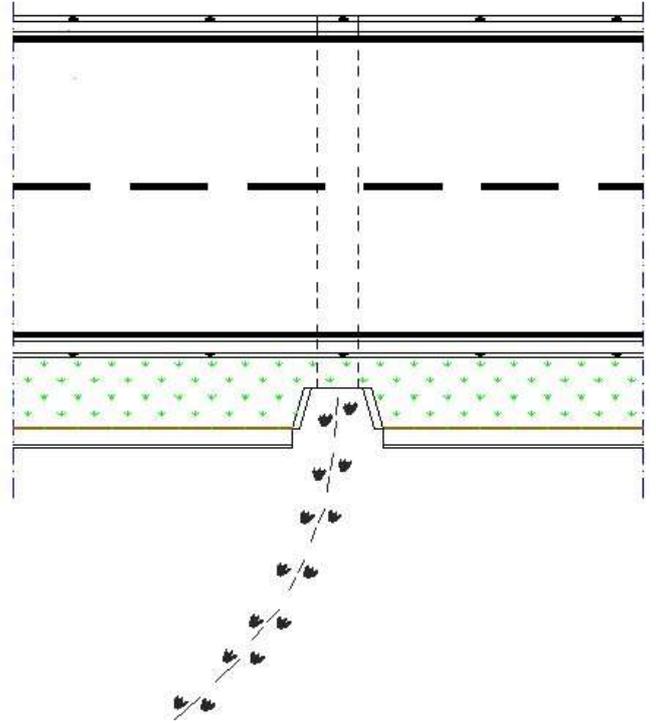
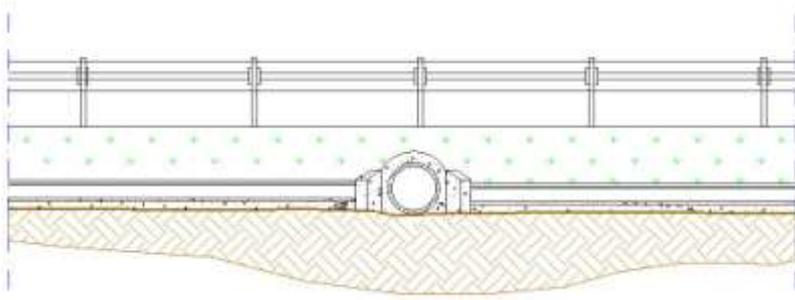
COSTI : secondo l'esperienza della Provincia di Modena il costo (dati 2000) per micro-tunnels di attraversamento è di circa € 150,00/ml. Un elemento prefabbricato di tunnel in calcestruzzo polimerico (lunghezza 1 metro, larghezza 60 cm, altezza 52 cm) costa € 480,00. In Olanda il costo di un tunnel per Anfibi è di € 550,00/ml (solo materiale) (dati 2005).
Nel Regno Unito 2 tunnel per anfibi lunghi 45 metri sono costati € 49.000,00.

Prospetto e planimetria di un tunnel per Anfibi

Foto di un tunnel per Anfibi (M. Dinetti)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 2A3

Attraversamenti – Inferiori – Specie media taglia

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: garantire un attraversamento sicuro, evitare l'isolamento delle sotto-popolazioni (meta-popolazioni).

Target faunistico: mammiferi di media taglia (Riccio, Coniglio selvatico, Martora, Faina, Puzzola, Donnola, Volpe, Tasso).

Condizioni applicative tipiche: preferibilmente in zone collinari e su strade in rilevato, in corrispondenza di siepi, scarpate, argini di corsi d'acqua, margini di boschi e boschetti.

Tecniche impiegabili: sottopassi posti sotto alla sede stradale, di diversi materiali e sezioni.

Materiali: tubi di cemento, scatolare in metallo, prefabbricati o opere d'arte in calcestruzzo.

Modalità di esecuzione: devono essere posti a 125-250 metri l'uno dall'altro. I piccoli mammiferi preferiscono passaggi collocati entro 100 metri da habitat arbustivi, stretti e con copertura vegetale agli ingressi. Nelle zone abitate dal Tasso la distanza ottimale tra due sottopassi consecutivi è di 200-400 metri. Il punto mediano deve risultare più alto rispetto agli ingressi, per evitare ristagni di umidità. Inclinazione massima 30°. Occorre un drenaggio al centro e fossette di scolo alle estremità. Sul pavimento va collocata sabbia o terra. Per i rettili sono utili microhabitat sia ombrosi che soleggiati, per favorire la termoregolazione. Presso gli ingressi devono essere piantumate macchie di arbusti di essenze diverse. I sottopassi devono essere collegati alle recinzioni (con fossetto sul lato esterno alla strada) per convogliare gli animali presso gli ingressi. Se la recinzione non è prevista lungo tutto il tracciato stradale, occorrono barriere di invito per almeno 10 metri su ciascun lato della strada.

Dimensioni tipo: circolari di 30-60 cm Ø per le specie più piccole, fino a 1-2 metri Ø, oppure sezioni quadrate 2x2 e fino a 3,5 x 3,5 metri per le specie più grandi. Le sezioni quadrate offrono una pavimentazione più ampia rispetto alle circolari. Per il Riccio Ø 30-150 cm, per Tassi e Volpi Ø minimo 40 cm, per la Puzzola Ø 80 cm. La lunghezza può arrivare fino a 60 metri (per Mustelidi fino a 40 metri di lunghezza).

Aspetti manutentivi: occorre assicurare un'ispezione interna annuale affinché non vi sia ristagno di acqua, oppure che si accumulino detriti o rifiuti che impedirebbero il transito degli animali. Presso gli ingressi può essere necessario uno sfoltimento della vegetazione che potrebbe celare gli ingressi.

Varianti: se presso gli ingressi vi sono fossati o canali occorre predisporre una passerella di attraversamento.

Commenti: l'indice di attraversamento di un sottopasso è:

- inversamente proporzionale alla sua lunghezza (= larghezza della strada);

- direttamente proporzionale a: altezza, lunghezza, ampiezza (= altezza x larghezza / lunghezza).

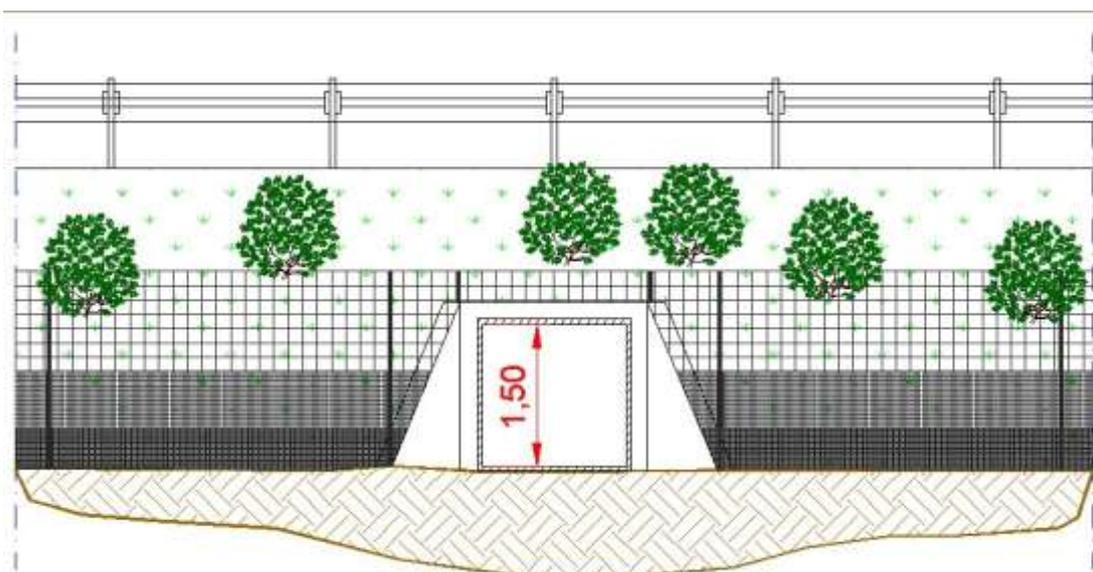
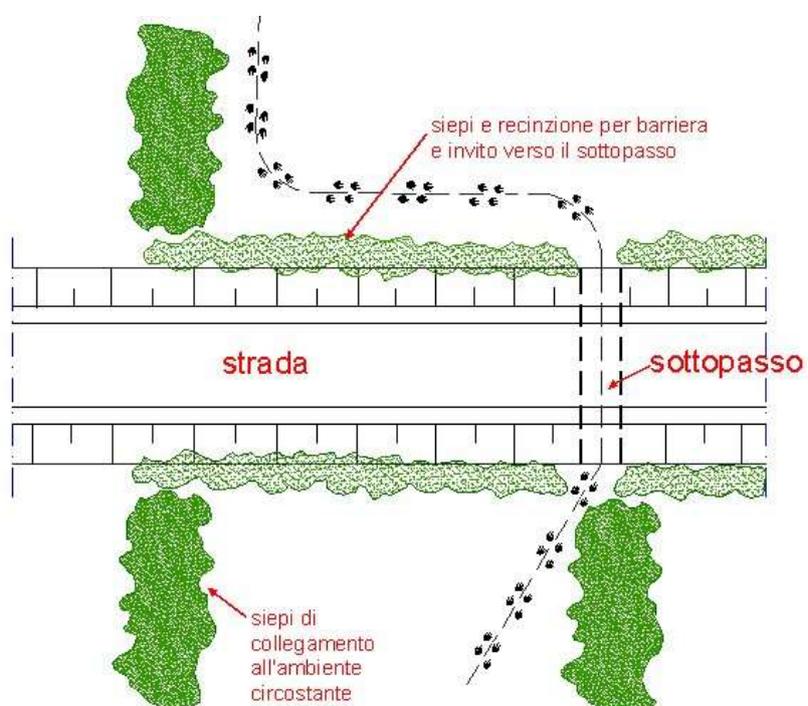
COSTI : il costo di due tunnel per Tasso lunghi 50 metri è stato di € 6000,00. Il costo di un tunnel per Tasso su una strada di progetto è di alcune migliaia di euro (Olanda, dati 1999), mentre lo stesso intervento su una strada già esistente è di € 15.000,00-50.000,00 (Olanda, dati 1999).

Prospetto di un sottopasso per specie di media taglia

Planimetria di un sottopasso per specie di media taglia (ridisegnato e modificato da: Dinetti, 2000)

Foto di un tunnel di drenaggio delle acque che può svolgere anche funzione di attraversamento faunistico (M. Dinetti)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 2A4

Attraversamenti – Inferiori – Specie grossa taglia

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: garantire la circolazione degli animali sul territorio, evitando di interrompere i corridoi faunistici. Scongiurare pericolosi incidenti stradali.

Target faunistico: tutte le categorie. Sono dedicati in particolare agli Ungulati (Capriolo, Daino, Cervo, Cinghiale, ecc.).

Condizioni applicative tipiche: zone a prevalente copertura boschiva e orografia collinare. Si realizza più facilmente lungo strade su rilevato.

Tecniche impiegabili: realizzazione di sottopassi posti sotto la sede stradale.

Materiali: lamiera di acciaio a sezione circolare, ellittica, ad arco (fino a 6 metri Ø) oppure opera d'arte in calcestruzzo.

Modalità di esecuzione: devono essere posti ogni 1,5 km, anche alternati con ecodotti. Devono essere collegati con le recinzioni sui lati della strada, in modo che esse non rappresentino solo uno sbarramento, ma "guidino" gli animali verso gli ingressi del sottopasso. Occorre suolo naturale (terra). Deve esserci la possibilità di vedere la vegetazione dall'altro lato dell'attraversamento. Agli ingressi è necessario piantumare alberi e macchie di arbusti appetibili dagli animali.

Dimensioni tipo: : lunghezza 13-90 metri, altezza 3-5 metri, larghezza 5-12 metri per le specie più piccole e oltre 25 metri per quelle più grandi.
Dimensioni minime: Cervo altezza 4 metri, Capriolo e Daino altezza 3,5 metri, Cinghiale altezza 3 metri.
Il rapporto tra sezione (m2) e lunghezza (m) è definito "ampiezza" (= larghezza x altezza/ lunghezza) ed è il fattore maggiormente condizionante l'uso. I sottopassi vengono usati normalmente se tale rapporto è ≥ 1. Non vengono usati se il rapporto è ≤ 0,35. Idealmente deve essere > 1,5
Il rapporto altezza/lunghezza e larghezza/lunghezza deve essere di almeno 1/10.

Aspetti manutentivi: occorrono ispezioni regolari per rimuovere eventuali ostacoli che lo potrebbero ostruire.

Varianti: è utile una striscia di tronchi e ceppi d'albero sul terreno, soprattutto se il sottopasso è ampio ed ha un uso misto (faunistico + umano, ad esempio strada agricola o pista ciclabile), In questo caso occorrono corsie separate, con una schermatura idonea (siepe o staccionata in legno).

Commenti: se il volume di traffico supera 150 veicoli/giorno o 1 persona/giorno il sottopasso avrà scarsa valenza rispetto all'utilizzo faunistico.

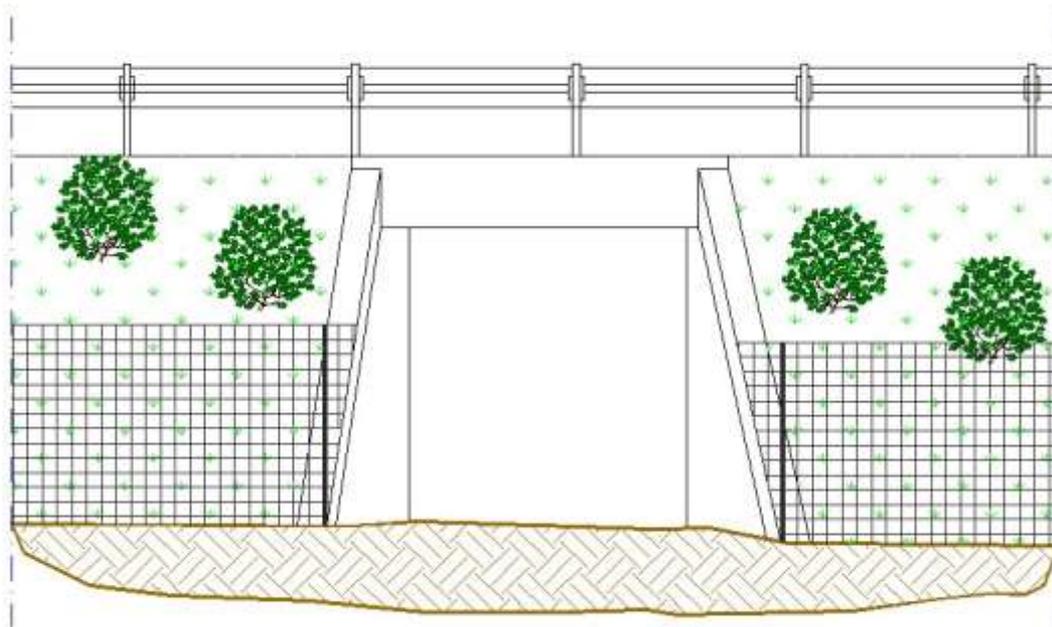
COSTI : il costo dei sottopassi è inferiore a quello dei sovrappassi, soprattutto se l'uso dei primi si combina con l'esigenza di superare depressioni del terreno o elementi idrografici. Il costo di un sottopasso in Francia di lunghezza 25 metri, larghezza 7 metri, altezza minima 2,5 metri, è pari a € 110.000,00 (625,00 €/mq); per una lunghezza di 43 metri, larghezza 10 metri, il costo è di € 270.000,00 (632,00 €/mq) (dati 1999).

Prospetto di un sottopasso per animali di grossa taglia

Foto di un sottopasso per animali di grossa taglia presso Chévrefu (Svizzera). Autore M. Dinetti.

SCHEDA 2A5

Attraversamenti - Inferiori – Canale sotterraneo ecologico ("*eco-culvert*")

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: garantire la possibilità di attraversamento sicuro, ed evitare l'isolamento alle specie che si spostano lungo le sponde dei corsi d'acqua. Integrare queste funzioni con quella di drenaggio delle acque.

Target faunistico: specie di piccola e media taglia, in particolare animali che frequentano le sponde dei corsi d'acqua.

Condizioni applicative tipiche: in concomitanza con corsi d'acqua (torrenti, canali, fossi). Ha un utilizzo multifunzionale, in quanto permette il deflusso dell'acqua, ed il passaggio di animali sia acquatici che terrestri.

Tecniche impiegabili: realizzazione di canali sotterranei ad uso misto.

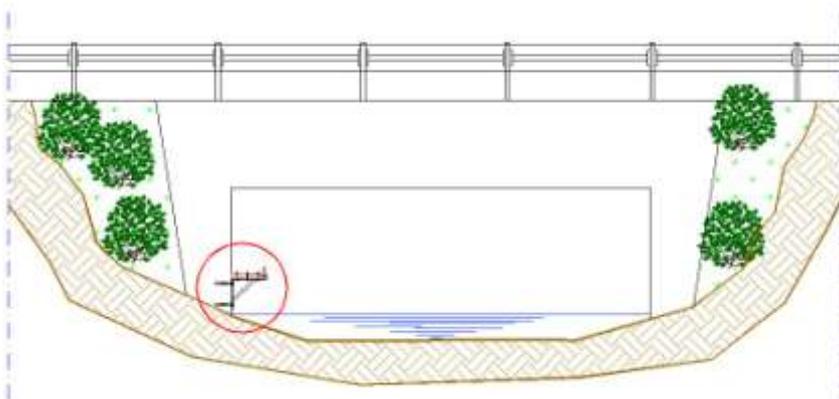
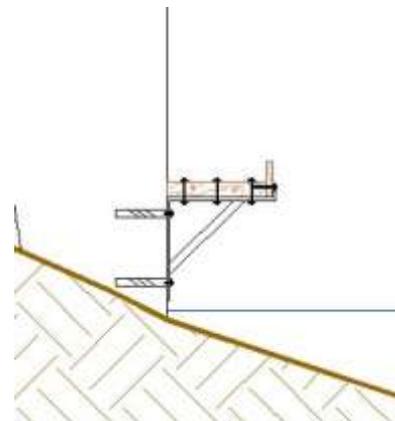
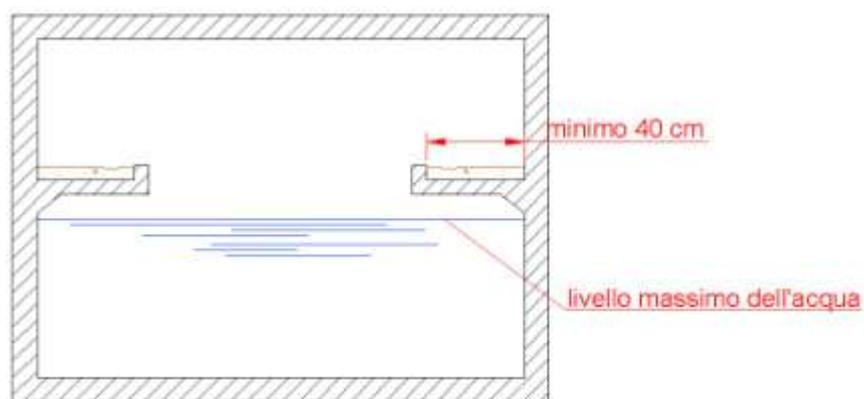
Materiali: opera d'arte in cemento armato. Legno e acciaio per eventuali passerelle.

Modalità di esecuzione: la struttura deve essere realizzata in modo tale che l'intero ambiente del torrente, canale o fosso vi converga. Sono necessarie soltanto piccole modifiche alla struttura che sarebbe comunque stata realizzata: in particolare occorre allestire dei "passaggi asciutti" (uno per lato) posti ad un'altezza che risulti sempre superiore a quella del livello massimo raggiunto dall'acqua. Tali passaggi asciutti per gli animali terrestri devono collegarsi alle sponde del corso d'acqua.

Dimensioni tipo: i passaggi asciutti laterali devono essere larghi almeno 40 cm su entrambi i lati. Il bordo esterno deve essere rialzato per trattenere la terra. La lunghezza può arrivare a 75 metri. La larghezza è variabile (in media 120 cm).

Aspetti manutentivi: occorrono ispezioni periodiche per verificare che non si sia accumulato materiale e detriti specialmente nei passaggi asciutti, e per verificare che il livello dell'acqua non li superi. In simili circostanze occorrono ulteriori modifiche (rialzamento dei passaggi asciutti), sempre che lo spazio a disposizione lo permetta.

Varianti: passerelle larghe 40 cm su entrambe i lati da applicare a canali sotterranei già esistenti, per garantire un "passaggio asciutto".

COSTI: il costo indicativo medio per la realizzazione di una passerella di larghezza 40 cm circa è di 65 €/metro lineare (è valido per un intervento di lunghezza minima 10 m).

Ipotesi di miglioramento di un attraversamento idraulico con l'inserimento di una passerella in legno per favorire il passaggio degli animali terrestri

Particolare della passerella in legno

Sezione di un canale sotterraneo in cls con "passaggi asciutti" (ridisegnato da: Dinetti, 2000)

Esempio di un canale sotterraneo lungo la nuova Autostrada Jura Svizzera-Francia (M. Bacci).

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 2B1

Attraversamenti - Superiori – Ponte faunistico

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: permettere agli animali l'attraversamento della strada in sicurezza. Evitare incidenti stradali con animali.

Target faunistico: tutte le categorie, ed in particolare specie di grossa taglia che si spostano all'aperto.

Condizioni applicative tipiche: strade di grande comunicazione e autostrade, soprattutto se ubicate presso boschi. Devono essere collocati lungo i corridoi faunistici.

Tecniche impiegabili: realizzazione di ponti speciali dedicati all'uso faunistico.

Materiali: opere d'arte in cemento armato, schermature in tavole di legno, terreno naturale.

Modalità di esecuzione: dopo la realizzazione dell'opera d'arte occorre collocarvi uno strato impermeabilizzante di protezione, su cui depositare uno strato di terra di 30 cm. Ai lati sono necessarie schermature in legno per ridurre il disturbo. L'opera d'arte si deve collegare alle recinzioni presenti ai lati della strada, assicurandosi che non rimangano passaggi aperti che potrebbero permettere agli animali di spingersi in carreggiata. L'attraversamento si deve collegare con gli ambienti naturali circostanti, eventualmente piantumando filari di alberi e siepi di raccordo.

Dimensioni tipo: la larghezza può oscillare tra i 4 ed i 12 metri (misura standard consigliata 8 metri). Le schermature in legno devono essere alte 2 metri.

Aspetti manutentivi: è necessaria un'ispezione periodica per verificare l'integrità della struttura (in particolare le schermature in legno e la tenuta delle recinzioni laterali), e per rimuovere eventuali detriti che potrebbero ostruire gli accessi.

Varianti: dove possibile (spazio sufficiente) è utile "migliorare" i cavalcavia già esistenti per il traffico veicolare, prevedendo strisce esterne di almeno 1 metro di larghezza da ricoprire con terreno (30 cm) e su cui lasciare sviluppare la vegetazione. Anche in questi casi è necessario predisporre schermature (in legno o siepi) rispetto agli usi antropici.

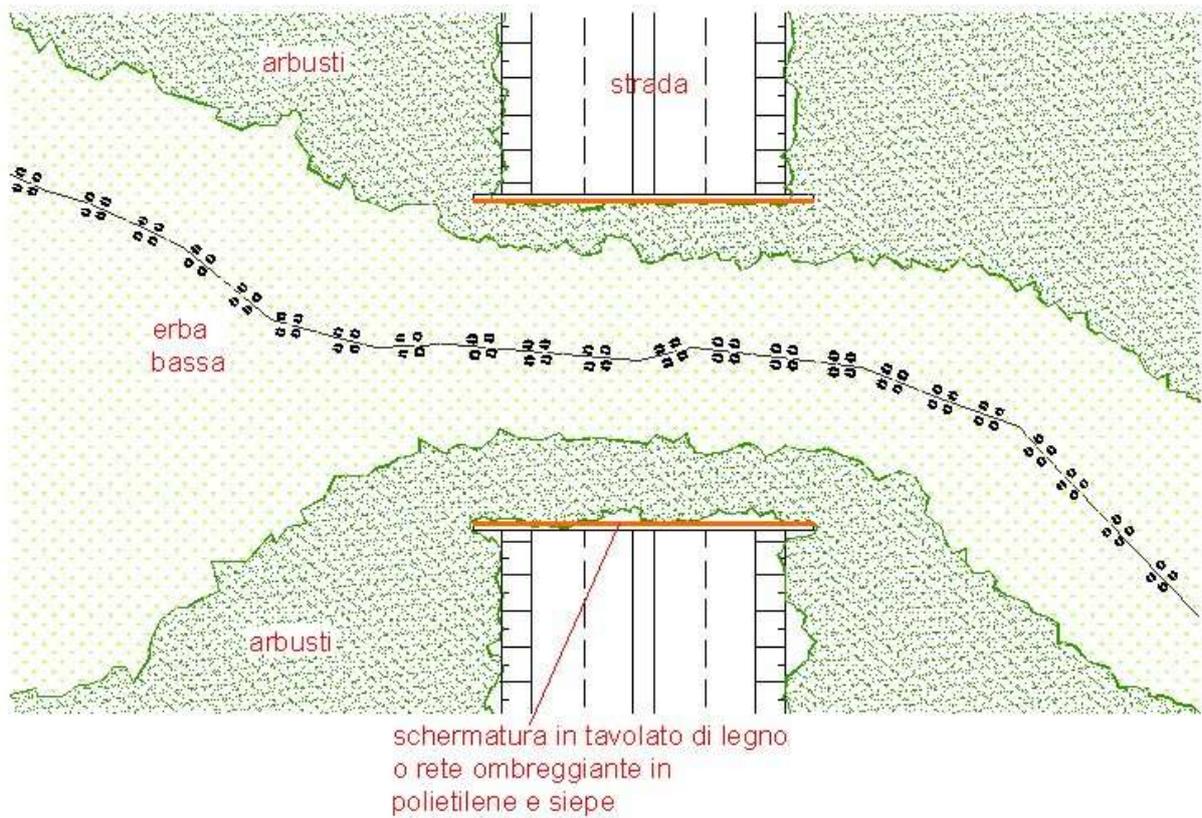
COSTI : il costo di un ponte faunistico realizzato in Olanda sopra un'autostrada di nuova realizzazione è stato di 1 milione di euro (dati 1999).

Ponte faunistico per fornire un passaggio agli animali (ridisegnato e modificato da: Dinetti, 2000)

Foto di un ponte faunistico sulla Strada di Grande Comunicazione FI-PI-LI (M. Dinetti)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 2B2

Attraversamenti - Superiori – Ecodotto

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: realizzare un collegamento tra le due porzioni dell'ecosistema che sono state suddivise dall'infrastruttura viaria. Evitare incidenti stradali con animali, soprattutto se di grossa taglia.

Target faunistico: sono concepiti per fauna di grossa taglia (Carnivori, Ungulati, ecc.) ma vengono usati anche dai piccoli animali compresi gli uccelli.

Condizioni applicative tipiche: strade di grande comunicazione e autostrade che attraversano boschi ampi e con spiccate condizioni di naturalità ed elevata presenza di animali di grossa taglia. Devono essere posizionati lungo i percorsi usati abitualmente dagli Ungulati.

Tecniche impiegabili: realizzazione di attraversamenti superiori di grandi dimensioni.

Materiali: opere d'arte in cemento armato, schermature in tavole di legno, piantumazione di essenze arbustive ed arboree.

Modalità di esecuzione: nelle aree di maggiore interesse naturalistico occorrono ecodotti ogni 1,6 km circa, in quelle di minore interesse ogni 5 km, eventualmente alternati ad attraversamenti inferiori di grandi dimensioni. Una volta realizzata l'opera d'arte, occorre ricoprirla con uno strato impermeabilizzante dotato di protezione, su cui deporre prima uno strato drenante e poi 20-40 cm di terreno fertile, sui cui lati saranno piantumate macchie di arbusti di essenze autoctone. Nel terreno saranno seminate piante erbacee appetibili dagli animali. La fascia centrale sarà coperta con sabbia per una larghezza di 2 metri, onde rilevare le impronte degli animali in transito. Ai lati sarà allestita una staccionata per la schermatura del disturbo antropico, rafforzata attraverso la piantumazione di una siepe alberata. Le uscite dell'ecodotto saranno raccordate alle recinzioni presenti ai lati della strada. Occorre anche un raccordo vegetazionale con gli ambienti limitrofi alla strada, in modo da consentire agli animali di arrivare all'ecodotto lungo un percorso coperto.

Dimensioni tipo: la forma deve essere a doppio imbuto, con accessi molto ampi. In situazioni di strada a livello occorrono rampe di accesso con una leggera inclinazione (16% in territori pianeggianti e fino al 25% in zone montane). La larghezza deve essere di almeno 20-30 metri (fino a 50-60 metri) nei punti di accesso, 8-12 (fino a 15-30 metri) nel punto mediano. La lunghezza può arrivare a 80 metri. Il rapporto minimo larghezza/lunghezza deve essere di almeno 0,8. Le staccionate di schermatura devono essere alte 2 metri.

Aspetti manutentivi: occorre la cura delle piante arbustive ed arboree nei primi 2-3 anni dalla piantumazione (annaffiatura, diserbo sottochioma) per garantirne l'attecchimento. La base del fusto degli alberi e arbusti di recente impianto deve essere protetta con apposite reticelle contro lo scortecciamento operato dagli Ungulati.

Commenti: la zona deve essere tranquilla e lontana da usi antropici (altre strade, piste ciclabili, ecc.) nel raggio di 500 metri. Una ricerca olandese ha identificato l'utilizzo da parte di 9 specie di mammiferi (Riccio, Coniglio selvatico, Lepre, Scoiattolo, Faina, Martora, Puzzola, Volpe, Capriolo) oltre ai micromammiferi (arvicole e topi). Anche gli uccelli preferiscono superare un'autostrada a livello dell'ecodotto piuttosto che in altri tratti.

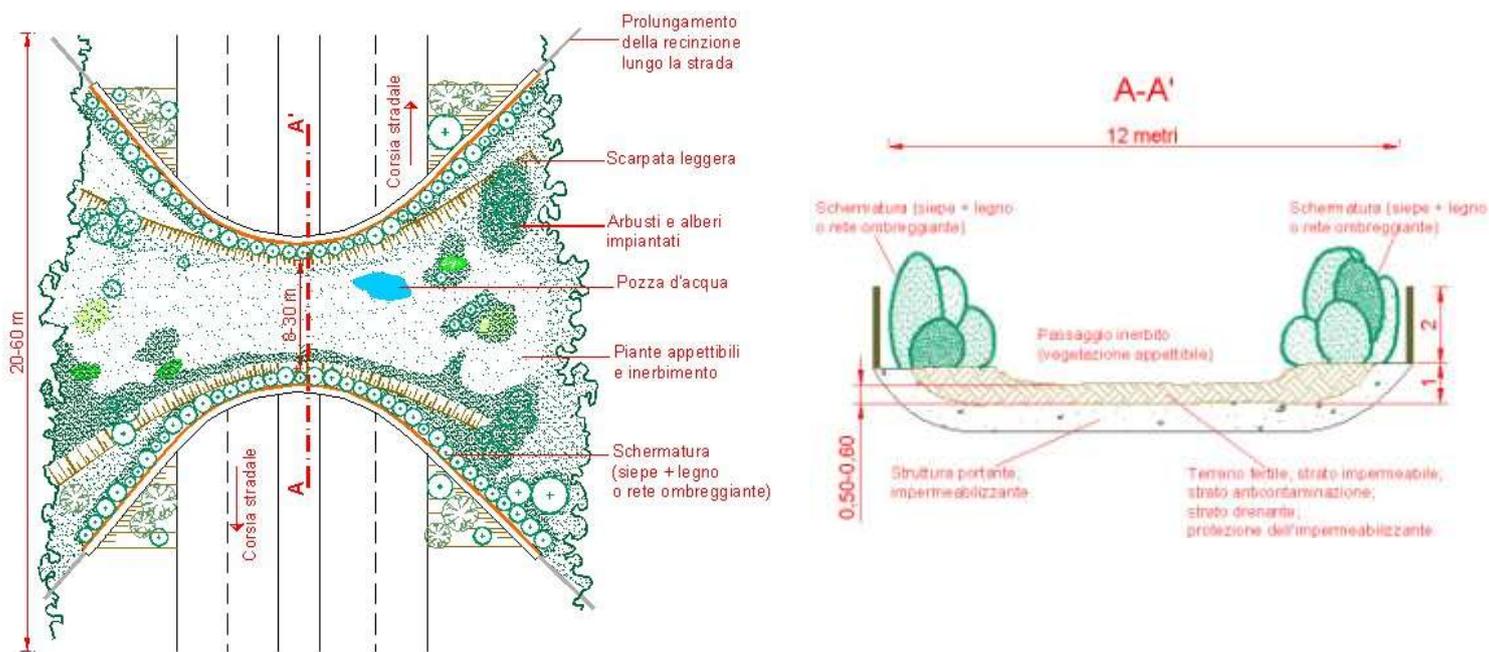
COSTI: il costo di un ecodotto francese con una lunghezza di 36 metri, larghezza 50 metri, è stato di € 360.000,00 (200,00 €/mq) (dati 1999). In Olanda la realizzazione di un ecodotto sopra un'autostrada già esistente è costata 3,5 milioni di euro (dati 1999).

Planimetria e sezione di un ecodotto (ridisegnato e modificato da: Dinetti, 2000)

Foto di un ecodotto lungo un’autostrada in Ungheria (M. Dinetti)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 2B3

Attraversamenti - Superiori – Ponte paesaggistico

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: ricucire il territorio e la frattura che la strada ha causato agli ecosistemi ed al paesaggio.

Target faunistico: tutte le categorie.

Condizioni applicative tipiche: strade di grande comunicazione e autostrade in ambiente periurbano o extraurbano. Di grande efficacia quando l'infrastruttura si trova a percorrere un tracciato prossimo ad un'area protetta o comunque di interesse ecologico.

Tecniche impiegabili: gallerie prefabbricate. In effetti un ponte paesaggistico può essere costituito anche da una galleria artificiale.

Materiali: galleria (anche prefabbricata), terreno naturale, vegetazione di essenze idonee..

Modalità di esecuzione: la struttura deve essere ricoperta con terreno fertile, su cui ricreare il paesaggio e l'ecosistema, basandosi sugli ambienti laterali e sulle caratteristiche preesistenti alla costruzione. Si pianteranno arbusti e alberi di essenze diversificate e di specie autoctone. Alle estremità la struttura dovrà essere raccordata alle recinzioni presenti sui due lati della strada, assicurandosi che non restino varchi attraverso cui gli animali potrebbero finire in carreggiata.

Dimensioni tipo: il tratto di strada coperto può essere di alcune centinaia di metri. La lunghezza minima deve essere 80 metri, al fine di permettere lo sviluppo di situazioni ambientali diversificate e di garantire una buona connessione ecosistemica.

Aspetti manutentivi: occorre la cura della vegetazione piantumata nei primi 3 anni (annaffiatura estiva, diserbo sottochioma).

Varianti: il tunnel ricoperto ("cut-and-cover tunnel") è di gran lunga preferibile alla strada in trincea, perché permette di ripristinare paesaggio e ambiente al di sopra dell'infrastruttura. In questi casi è opportuno riutilizzare lo stesso terreno superficiale che è stato rimosso, avendo la precauzione di non compattarlo e degradarlo.

Commenti: per evitare la frammentazione ambientale e l'effetto "barriera" dell'infrastruttura viaria, è preferibile realizzare gallerie (anche artificiali) invece di strade realizzate in trincee profonde. Il ponte paesaggistico permette superiormente un utilizzo multifunzionale: faunistico e umano (piste pedonali, ciclabili ed equestri, strada ad uso agricolo).

COSTI : il più grande "ponte verde" del mondo è in Olanda (Trailo Sand Quarry Nature Bridge) ha una lunghezza di 800 metri, una larghezza di 50 metri nella sezione più stretta, ed un'altezza di 10,5 metri. Copre una strada provinciale, una ferrovia, un quartiere commerciale ed un centro sportivo. Il costo (dati 2003) è di $ 13.500.000.

Ponti paesistici francesi: lunghezza 200 metri, larghezza 23 metri, costo € 770.000,00 (170,00 €/mq) (dati 1999); lunghezza 150-170 metri e basato su gallerie prefabbricate alte 9 metri è costato € 8.000.000,00 (dati 2003).

Foto di un ponte paesaggistico lungo l'Autostrada A26 Genova-Alessandria (M. Dinetti)

Foto da un ponte paesaggistico lungo l'Autostrada del Sole A1 nei pressi di Calenzano (M. Bacci)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 3A

Segnalatori – per automobilisti (segnali stradali)

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: avvisare l'automobilista della possibile presenza di fauna selvatica lungo la strada, inducendolo ad uno stile di guida adeguato (riduzione della velocità, maggiore attenzione).

Target faunistico: tutte le categorie, con particolare riguardo a specie di grossa taglia (di interesse ai fini della sicurezza stradale).

Condizioni applicative tipiche: strade e autostrade extraurbane che costeggiano habitat frequentati da fauna selvatica, in particolare presso ambienti boschivi.

Tecniche impiegabili: installazione di segnali stradali di caratteristiche standard, oppure sperimentali.

Materiali: pali di ferro, segnaletica a norma.

Modalità di esecuzione: per prima cosa devono essere individuati i tratti stradali maggiormente interessati dalla presenza di fauna selvatica. Alle due estremità di tali settori devono essere posizionati i segnali stradali, con eventuali pannelli esplicativi sulla lunghezza (km) del tratto interessato dal pericolo.

Dimensioni tipo: il Nuovo Codice della Strada (D.P.R. n° 495 del 16.12.1992) dedica due segnali alla presenza di animali sulle strade: "animali domestici" e "animali selvatici".

Aspetti manutentivi: deve essere effettuata manutenzione standard per assicurare la corretta leggibilità del cartello (togliendo eventuali ostacoli di fronte) e per verificare eventuali atti di vandalismo.

Varianti: alcuni enti (ad esempio enti Parco) hanno sperimentato segnaletica sperimentale e innovativa, ad esempio con la figura del Rospo oppure del Riccio. A tal fine sarebbe necessaria una modifica all'art. 45 del Codice della Strada, in quanto non viene incentivata la sperimentazione di segnaletica innovativa.

Alcune Amministrazioni Provinciali hanno invece utilizzato i segnali classici, ma resi più evidenti aggiungendo pannelli esplicativi che richiamano il pericolo e/o indicano il tratto di strada (km) interessato dal fenomeno.

Più efficaci sono i sistemi in grado di identificare realmente la presenza degli animali di grossa taglia nel particolare tratto stradale, attivando (in caso positivo) un segnale luminoso lampeggiante. Le telecamere a infrarossi che vengono utilizzate sono in grado di registrare la presenza degli animali fino a 250 metri di distanza, e sono in grado di individuare specie dalla taglia di un gatto a quella di un cervo.

Commenti: nella realtà i segnali classici hanno poco effetto sul tipo di risposta da parte dell'automobilista: essendo presenti in maniera permanente, inducono "assuefazione" perché non vengono collegati con un pericolo realmente presente. Una riduzione consistente degli incidenti è ottenibile solamente se la velocità risulta particolarmente bassa (30 km/h).

La presenza della segnaletica riveste inoltre un ruolo amministrativo rispetto alla responsabilità dell'ente gestore, che è tenuto a segnalare la presenza di pericoli lungo la strada. In caso di incidente stradale con fauna selvatica deve quindi essere provata l'assenza di idonea segnaletica.

COSTI: un segnale stradale di pericolo in alluminio costa € 45,00 ed il palo € 28,00.

Esempio di segnale stradale “pericolo animali vaganti” (M. Dinetti)

Esempio di segnale stradale “pericolo animali vaganti” (M. Dinetti)

Esempio di cartello indicatore per specifica la fauna presente in California (USA) (C. Benozzi). Sebbene in Italia i segnali stradali siano standard, è auspicabile che nel futuro si tenda a indicare le singole specie, affinché venga posta più efficace attenzione.

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 3B

Segnalatori – per animali (catarifrangenti)

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: "spaventare" e bloccare momentaneamente l'animale selvatico che si accinge ad attraversare la strada.

Target faunistico: soprattutto animali di grossa taglia (Ungulati quali Capriolo, Cervo, Cinghiale).

Condizioni applicative tipiche: sono consigliati per le strade con volume di traffico moderato e discontinuo. Se installati lungo strade molto trafficate il segnale diventa pressoché costante, e gli animali si abituano.

Tecniche impiegabili: installazione di speciali catadiottri che riflettono la luce dei fari degli autoveicoli verso gli ambienti laterali alla strada, producendo una "barriera ottica" di avvertimento nei confronti degli animali che si avvicinano verso la strada. Funzionano solo di notte. Costituiscono una barriera ottica "virtuale", che si attiva soltanto quando vi sono veicoli in transito: pertanto questa tecnica non rappresenta un ostacolo fisso che impedisce gli spostamenti della fauna.

Materiali: catadiottri specifici, paletti di sostegno. Anche se il mercato propone soprattutto il colore rosso, sarebbero preferibili i colori verde e blu, perché maggiormente percepiti dagli Ungulati.

Modalità di esecuzione: possono essere abbinati ai catarifrangenti tradizionali, oppure installati su pali autonomi. Si applicano con viti, bulloncini o adesivo a paletti di legno, plastica o metallo. L'altezza da terra deve essere di 1 metro, la distanza dal bordo della strada 1 metro. La distanza tra uno e l'altro sarà di 20 metri (10 metri in curva).

Dimensioni tipo: il catadiottro misura 16,5 x 5 cm.

Aspetti manutentivi: occorre una pulizia periodica per mantenerli in efficienza, in particolare nelle zone polverose.

Varianti: esistono appositi modelli per scarpate e terreni laterali in pendenza.

Commenti: l'efficacia è controversa: sono stati condotti molti test, sia in Italia che all'estero, i cui risultati sono stati valutati da positivi a negativi al fine della riduzione degli incidenti con Ungulati.

COSTI : costo dei dissuasori ottici riflettenti: € 600,00-800,00/km.

Costi d'installazione: € 1.100,00-1.300,00/km.

Spese di ricerca (studio territorio): € 500,00/km.

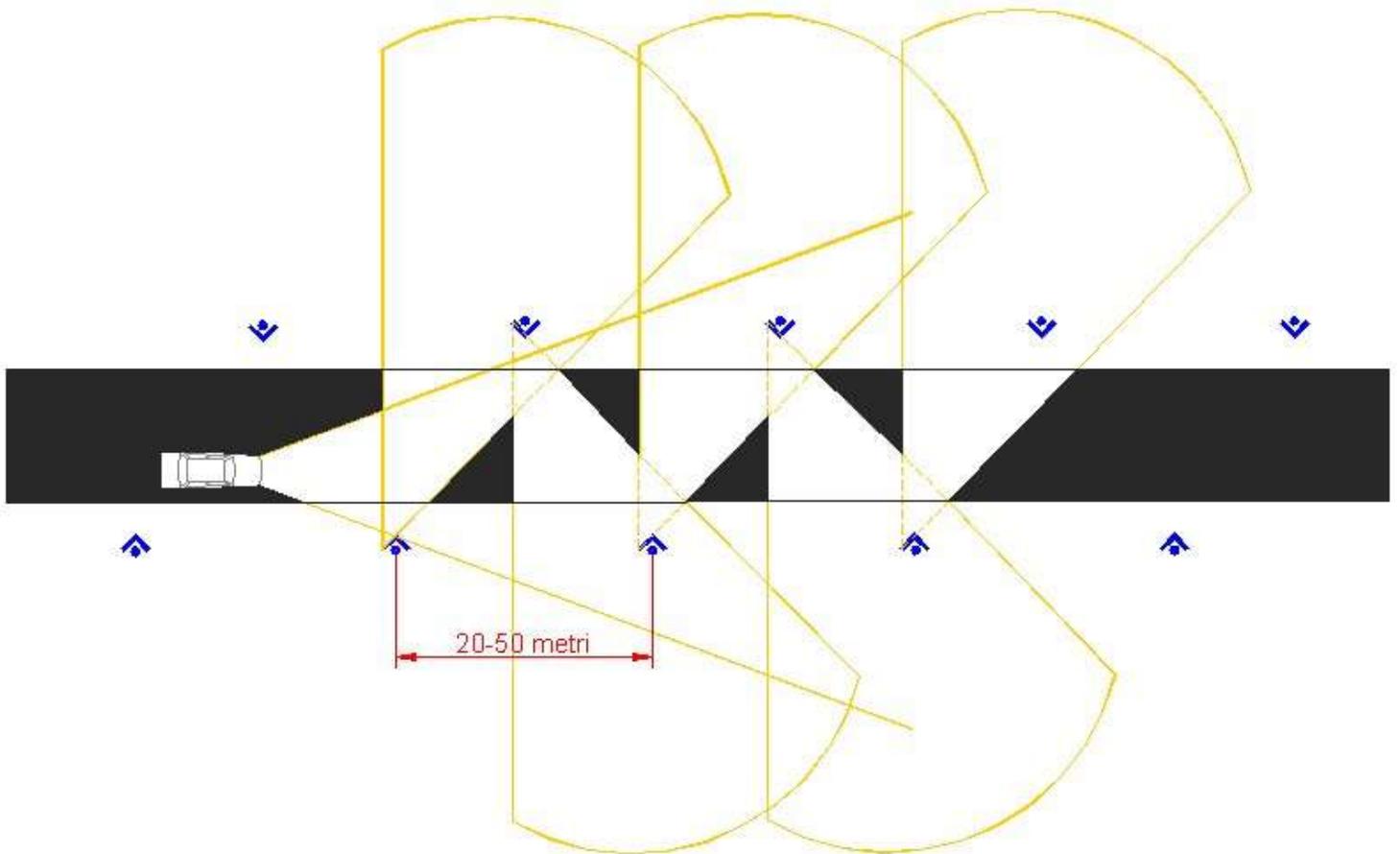
Costi di manutenzione e sostituzione: € 1.000,00/km annui.

Costo dei dissuasori ottici riflettenti brevettati dall'Università di Bologna: € 4.000,00/km.

Costi d'installazione: € 5.000,00-6.000,00/km.

Spese di ricerca (studio territorio, passaggi storici): € 500,00/km.

Costi di manutenzione e sostituzione: € 2.000,00/km annui.

20-50 metri

Effetto dei catarifrangenti per animali: di notte le luci dei fari degli autoveicoli vengono riflesse negli ambienti laterali, creando un effetto deterrente che scoraggia l'attraversamento (ridisegnato da: Rosell Pagès e Velasco Rivas, 1999)

Esempio di catarifrangente per animali (M. Dinetti)

Esempio di catarifrangenti per animali (E. Tarasconi)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 4A

Strutture pericolose – Pannelli fonoassorbenti trasparenti

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: ridurre la mortalità degli uccelli per impatto contro le superfici trasparenti, che non vengono percepite quali ostacoli.

Target faunistico: tutte le specie di avifauna, comprese quelle rare nel territorio.

Condizioni applicative tipiche: strade, strade di grande comunicazione, autostrade. Particolarmente pericolose sono le serie di pannelli posti vicino alla vegetazione (siepi, alberi).

Tecniche impiegabili: installazione di materiale adesivo "anticollisione volatili" sui pannelli trasparenti.

Materiali: sagome adesive a forma di silhouette di rapace in volo (falco) di colore nero o bianco, strisce adesive di colore bianco o giallo.

Modalità di esecuzione: sarebbe preferibile dotare i pannelli fonoassorbenti trasparenti delle sagome già in fase di produzione. Su pannelli già installati occorre applicare successivamente gli adesivi. Le silhouettes "falco" devono essere installate alla densità minima di 1 sagoma/1,5 mq di pannello. Le strisce devono essere applicate verticalmente a 10 cm di distanza.

Dimensioni tipo: silhouette a forma di rapace in volo (falco): apertura alare 40 cm. Strisce di 2 cm di larghezza.

Aspetti manutentivi: gli adesivi hanno una buona durata, di almeno 10 anni, e non richiedono manutenzione particolare.

Varianti: i pannelli fonoassorbenti in materiale opaco (legno, alluminio, ecc.), terrapieni o siepi alberate di 4 metri di altezza risultano, al contrario, efficaci al fine di alzare le traiettorie di volo degli uccelli al di sopra dei veicoli in transito.

Commenti: occorre evitare di predisporre lunghi tratti continui di barriera fonoassorbente (specie se installate sopra a terrapieni) per evitare la frammentazione ambientale e consentire il passaggio alla fauna terrestre, lasciando aperture in corrispondenza degli attraversamenti.

COSTI : circa € 2,00 per sagoma.

Foto di pannelli fonoassorbenti trasparenti dotati di sagome anticollisione volatili (M. Dinetti)

Foto di pannelli fonoassorbenti in materiale opaco (M. Dinetti)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA’

SCHEDA 4B

Strutture pericolose – risalite per pozzetti/chiusini e cordoli

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: evitare l’intrappolamento dei piccoli animali nelle condutture e nelle strutture di decantazione delle acque reflue.

Target faunistico: specie di piccole e medie dimensioni (micromammiferi, ricci, roditori, lucertole, rospi, ecc.).

Condizioni applicative tipiche: pozzetti di decantazione, vasche artificiali, tubature di drenaggio, cordoli e marciapiedi.

Tecniche impiegabili: chiusura dei pozzetti con tombini e griglie strette (< 20 mm di larghezza). Realizzazione di scivoli e risalite. Nelle canalette di scolo è necessario realizzare una rampa di uscita ogni 25 metri.

Materiali: gli scivoli possono essere realizzati in cemento, legno o acciaio cromato (non magnetico). Le rampe di risalita anche con rami e sassi.

Modalità di esecuzione: le vie di fuga (risalite) possono essere realizzate quali rampe ruvide in calcestruzzo, predisposte in fase di costruzione del manufatto. Lo sbocco della rampa deve essere posizionato a 40 cm sopra al livello del suolo, in modo di evitare l’ingresso agli animali.

I tombini ed i pozzetti devono essere arretrati di almeno 10 cm di distanza dai marciapiedi, in maniera tale che un piccolo animale che segue il cordolo non incontri la “trappola” lungo il percorso.

Dimensioni tipo: le rampe di uscita devono essere larghe 20 cm, con inclinazione massima di 60°.

Aspetti manutentivi: si deve assicurare la funzionalità nel tempo, eliminando ostacoli e detriti che ne potrebbero impedire la transitabilità e l’efficacia.

Varianti: su strutture già esistenti, le rampe possono essere aggiunte successivamente.

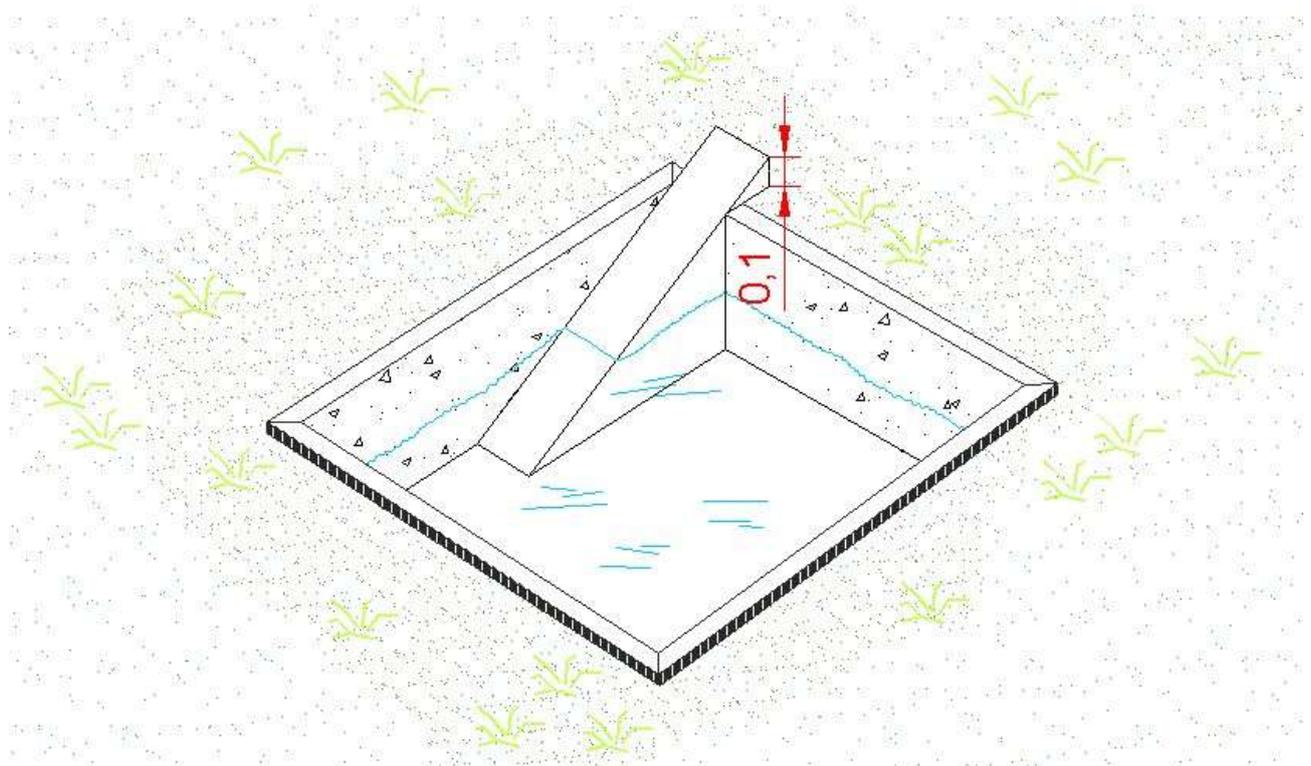
COSTI : irrilevanti, qualche decina di euro.

Rampa fissa per evitare l'intrappolamento di piccoli animali in cisterne, pozzetti, vasche, etc. (ridisegnato da: Scoccianti, 2001)

Foto di un chiusino arretrato rispetto al cordolo in modo tale che gli anfibi, muovendosi lungo il cordolo stesso, non lo intercettino (M. Dinetti)

SCHEDE INFRASTRUTTURE BIODIVERSITA'

SCHEDA 4C

Strutture pericolose – new jersey

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO: ridurre la possibilità di investimento degli animali che si fossero spinti in carreggiata. Ridurre l'effetto barriera dell'infrastruttura.

Target faunistico: specie di piccola e media taglia (ricci, volpi, tassi, ecc.).

Condizioni applicative tipiche: strade di grande comunicazione in ambito periurbano ed extraurbano.

Tecniche impiegabili: realizzazione di barriere centrali permeabili (modifica alla tipologia normalmente usata).

Materiali: prefabbricati in calcestruzzo.

Modalità di esecuzione: apporre varianti costruttive ai modelli attuali, predisponendo un'apertura centrale di passaggio.

Dimensioni tipo: il passaggio deve essere ad arco, alto 20 cm nel punto più alto e largo 30 cm alla base.

Aspetti manutentivi: non occorre manutenzione, eccetto una verifica periodica affinché i passaggi non siano ostruiti da detriti e rifiuti.

Varianti: ottimi i nuovi guard-rails a tripla onda, che permettono il passaggio degli animali.

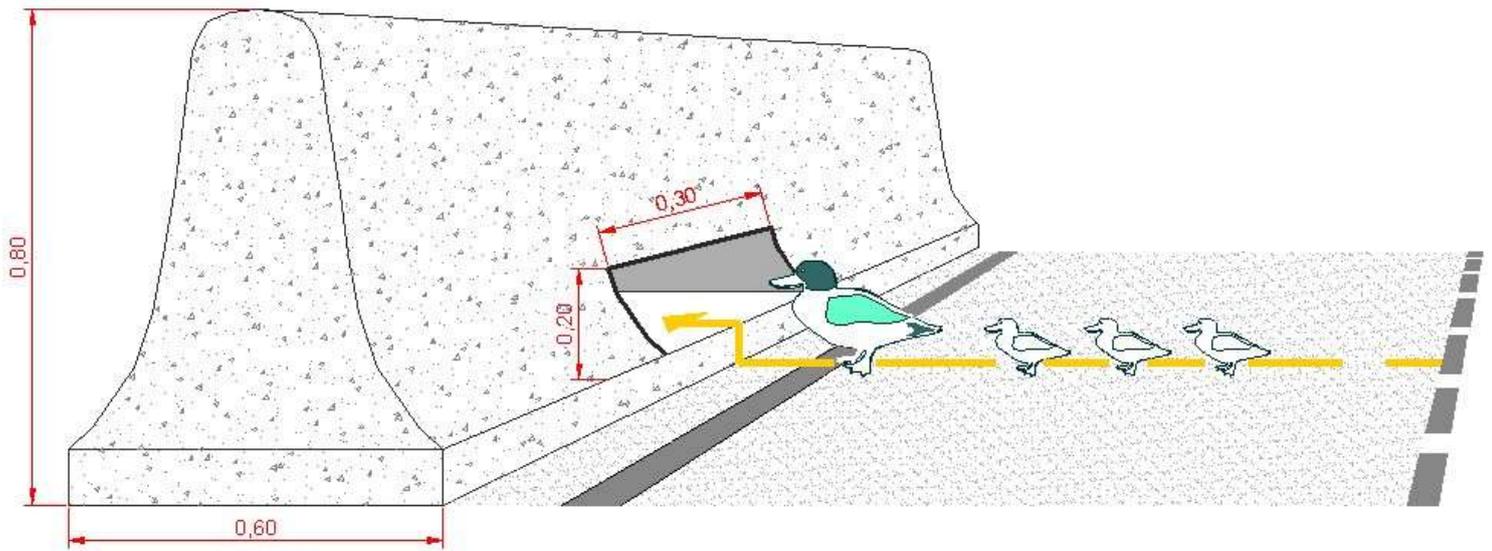
COSTI : nulli, una volta modificato lo stampo di realizzazione del modulo.

Ipotesi progettuale di new jersey con aperture per il passaggio della fauna (ridisegnato e modificato da: Dinetti, 2000)

Foto di un new jersey lungo l'autostrada A26 nei pressi di Alessandria (M. Dinetti)

APPENDICE PARTE PRIMA

Misure di mitigazione degli impatti delle infrastrutture lineari sulla biodiversità

Tecniche di progettazione degli interventi di mitigazione

Ginevra Beretta
ANAS

La fase di progettazione degli interventi di mitigazione e compensazione ambientali, risultano l'ultimo step di un "ciclo progettuale" complesso che, basandosi su un'approfondita analisi del contesto ambientale del territorio direttamente ed indirettamente interessato dall'infrastruttura, ottimizza la localizzazione del tracciato, definisce le tipologie costruttive più adeguate e di minor impatto e nella fase finale individua le misure di mitigazione degli impatti residui.
I criteri generali che guidano la definizione della progettazione delle opere di mitigazione ambientale per il contenimento degli impatti sulla biodiversità tengono conto, oltre ai principi di conservazione della biodiversità e quindi alle necessità tecniche per cui sono state specificatamente progettate, anche delle esigenze di sicurezza, del mantenimento e riqualificazione delle configurazioni paesaggistiche presenti, del contenimento dei livelli di intrusione visiva, dell'utilizzo di specie autoctone, tipiche della vegetazione potenziale delle aree attraversate.
Gli interventi di mitigazione inoltre possono rappresentare un'opportunità per la costruzione ex novo di unità ecosistemiche in grado di aumentare l'equipaggiamento naturale del territorio ovvero la ricostruzione di ecosistemi eventualmente compromessi.

La presenza di una infrastruttura lineare, anche se ben progettata, si configura comunque come un elemento tale da interrompere la continuità ambientale del territorio producendo un effetto barriera nei confronti delle specie animali. In particolare tale effetto si traduce nella: frammentazione degli habitat, nei confronti delle specie più mobili, con conseguente ridistrubuzione delle stesse nel territorio; condizionamento delle principali fasi riproduttive (significatamene per gli anfibi); generazione di un effetto di disturbo, con "avoidance" e "displacement" di alcune popolazioni animali; mortalità diretta della fauna.

I principali obiettivi perseguiti nella progettazione degli interventi di mitigazione sulla biodiversità sono:

- la riduzione della frammentazione e dell'isolamento delle popolazioni di animali, attraverso il ripristino della continuità ambientale interrotta con la costruzione dell'infrastruttura;
- la riduzione della possibilità di incidente tra veicoli ed animali, impedendo l'accesso della fauna alla sede stradale.

Il primo di tali obiettivi viene perseguito con la realizzazione di "interventi attivi" rappresentati da passaggi faunistici; si tratta di manufatti artificiali che consentono alla fauna di attraversare in sicurezza le vie di comunicazione, ripristinando la continuità territoriale e riducendo la frammentazione ecosistemica. Tali interventi si distinguono in

sottopassi, utilizzati per lo più da anfibi, rettili e mammiferi di taglia medio-piccola, ed in *sovrappassi*, utilizzati da ungulati ed altri mammiferi terrestri di grossa taglia.
Il secondo scopo viene raggiunto tramite la messa in opera di “interventi passivi” che consistono nella realizzazione di barriere e recinzioni tali da ridurre il rischio di attraversamento dell’infrastruttura da parte della fauna, e nel contempo convogliare gli animali verso i punti di attraversamento sicuro (passaggi faunistici, sottoviadotti, tratti in galleria, etc).

I passaggi faunistici rappresentano la tipologia di intervento per la mitigazione degli impatti sulla biodiversità che maggiormente trova applicazione nella progettazione di infrastrutture lineari di trasporto.

I parametri principali di cui tener conto per la corretta progettazione di tali opere sono:
- localizzazione;
- dimensioni;
- materiali;
- elementi complementari.

L’ubicazione ed il numero dei passaggi per la fauna selvatica dipendono dalle caratteristiche peculiari della rete ecologica esistente e pertanto devono essere valutate a seconda del contesto specifico. In linea generale ed in mancanza di analisi e studi specifici si possono seguire le seguenti indicazioni di carattere generale:
- concentrare gli interventi in prossimità delle individuate aree di interesse faunistico, in corrispondenza delle quali si trovano le specie più sensibili.
- garantire la presenza di passaggi nelle vicinanze di ecotoni (margini boschivi, radure, siepi, margini di torbiere, corsi d’acqua, ecc.), in quanto essi costituiscono gli assi privilegiati di spostamento della fauna.
- adottare densità di passaggi faunistici pari ad un manufatto ogni 500-1.000 metri per i vertebrati maggiori mentre per la microfauna uno ogni 250 metri circa.

Le dimensioni dei manufatti costituiscono elemento essenziale per l’efficacia dell’intervento. Ciascun gruppo faunistico ha esigenze differenti pertanto può risultare preferibile dimensionare l’opera sulla base dei bisogni delle specie più esigenti.
Le dimensioni dei sottopassaggi possono essere molto variabili in quanto, specificatamente per gli anfibi e per i piccoli mammiferi, sono sufficienti persino tubi di alcune decine di centimetri di diametro. Col crescere delle dimensioni, il sottopassaggio si presta per il passaggio di numerose specie di animali di piccole e medie dimensioni e in determinate situazioni anche per gli ungulati .
Come regola generale è importante tenere in conto il cosiddetto indice di apertura: (altezza x larghezza) / lunghezza del sottopasso. Per garantire una buona visibilità dell’uscita opposta da entrambi i punti di entrata, quanto più lungo è il passaggio, tanto più ampia deve essere la sezione. Ciò vale soprattutto per la fauna di grossa taglia per la quale l’indice di apertura deve essere superiore a 0,5.

Per quanto riguarda i materiali bisogna distinguere fra quelli costituenti il manufatto di attraversamento e quelli utilizzati per la superficie di calpestio. Generalmente i sottopassi sono costituiti da strutture realizzate in lamiera corrugata o in cemento; le specie più selettive, tendono ad evitare le strutture in lamiera. Il substrato utilizzato

come superficie di calpestio alla base della struttura è opportuno che sia naturale, oppure di cemento o legno, evitando il metallo.

Elementi complementari di determinante importanza per l'efficacia dei passaggi sono le misure di adeguamento degli accessi: le strutture di invito poste nei dintorni del passaggio e la presenza di vegetazione diversificata e di elementi che inducono gli animali verso gli ingressi.
E' importante, soprattutto per le strade a medio/elevata intensità di traffico, l'installazione di recinzioni in modo da impedire l'accesso alla via di comunicazione e di indirizzare in modo efficace la fauna verso i passaggi; le recinzioni, a maglia decrescente devono essere interrate alla base e dimensionate in rapporto alla fauna del luogo. Inoltre, al fine di ridurre il rischio di mortalità delle specie faunistiche si deve evitare l'utilizzo di filo spinato e reti plastificate in colore verde scuro in vicinanza di vegetazione boschiva, poichè poco visibili e a rischio di collisione per l'avifauna.
La messa a dimora di vegetazione nei pressi delle entrate ha lo scopo prioritario di indirizzare gli animali verso l'imbocco dei passaggi; i sesti e le densità di impianto delle essenze arbustive ed arboree (autoctone dei luoghi) devono essere tali da orientare la fauna garantendogli protezione nel percorso di avvicinamento (da parte di fenomeni di predazione) senza però ridurre l'entrata di luce nel passaggio e garantendo comunque una buona visione nell'intorno. Un ulteriore ruolo rivestito dall'impianto di vegetazione è quello di ridurre l'effetto di disturbo della strada, diminuendo la visione dei veicoli da parte degli animali, e di scoraggiare la fauna da eventuali tentativi di scavalco della recinzione.

CRITERI PROGETTUALI

La scelta della tipologia di passaggio faunistico dipende da una serie di fattori tra cui, oltre la specifica fauna interessata, le caratteristiche morfologiche locali, la tipologia costruttiva della sede stradale da attraversare e le eventuali particolari esigenze di inserimento paesaggistico.

Una volta individuati i flussi biologici principali, in corrispondenza dei quali è necessario garantire la continuità ambientale, i criteri e gli step da seguire, in un adeguato iter progettuale, risultano:

1. ***se possibile adottare tipologie costruttive della sezione stradale di per sé particolarmente idonee quali passaggi per la fauna: ponti e gallerie.***

   I ponti per l'attraversamento dei corsi d'acqua costituiscono ubicazioni privilegiate per i passaggi per la fauna selvatica; se possibile, i corsi d'acqua vanno attraversati con opere d'arte di luce tale da poter mantenere sponde sufficientemente larghe per il passaggio di tutta la fauna terrestre e anfibia.
   Le gallerie, naturali ed artificiali, rappresentano tratti stradali percorribili senza rischio di collisione; le superfici sovrastanti le gallerie artificiali devono essere completamente percorribili, in modo da facilitare al massimo la connessione.
   Le eventuali recinzioni pertanto, devono essere previste solamente nei tratti di sede stradale potenzialmente attraversabile da animali terrestri, e devono quindi

interessare esclusivamente le seguenti tipologie: raso, trincea, rilevato ed imbocchi in galleria mentre, va evitata qualsiasi forma di recinzione di terreni sottostanti viadotti e sopra le gallerie artificiali.

2. ***adattare le opere stradali di attraversamento previste per altre funzioni, quali tombini e scatolari idraulici, sottopassi e sovrappassi stradali, alle esigenze della fauna.***

   E' possibile utilizzare strutture stradali realizzate per altre funzioni ed adeguarle agli usi faunistici; tale soluzione, idonea nei casi in cui non ci siano esigenze specifiche, permette buoni risultati con un contenimento dei costi.

   I tombini a sezione circolare e gli scatolari destinati all'attraversamento dei corsi d'acqua minori interferiti dall'infrastruttura possono essere modificati per favorirne l'uso come passaggio per la fauna. Tale operazione richiede un dimensionamento di tale opere (in termini di sezione trasversale) più abbondante rispetto all'esclusivo uso idraulico, ed alcune modifiche piuttosto semplici. Le strutture non devono presentare pozzetti o salti che possono creare trappole o difficoltà per gli animali. Può essere necessario pertanto, in particolari situazioni morfologiche, realizzare rampe in ingresso, le quali debbono presentare una pendenza intorno al 30% ed una rugosità della superficie di calpestio.

   La sezione trasversale della struttura deve presentare una o due fasce laterali, che si mantengano asciutte in condizioni di normale deflusso delle acque; ciò viene realizzato rialzando parte della base che viene ricoperta, necessariamente se in materiale metallico, con una soletta in cls o in materiale naturale (cfr. fig.1). In alternativa, negli scatolari, può essere realizzata una passerella di cemento o di legno, sopraelevata rispetto alla base della struttura, al di sopra della portata di massima piena che transita nel manufatto.

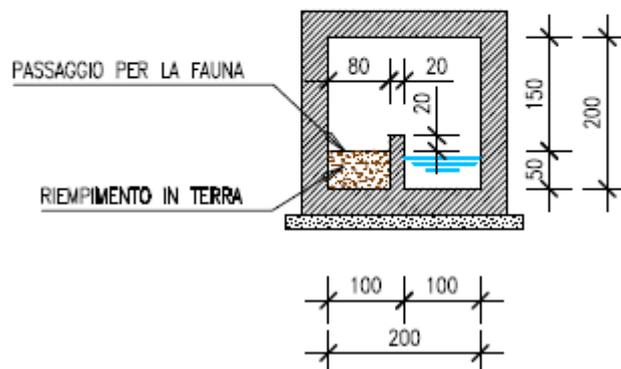
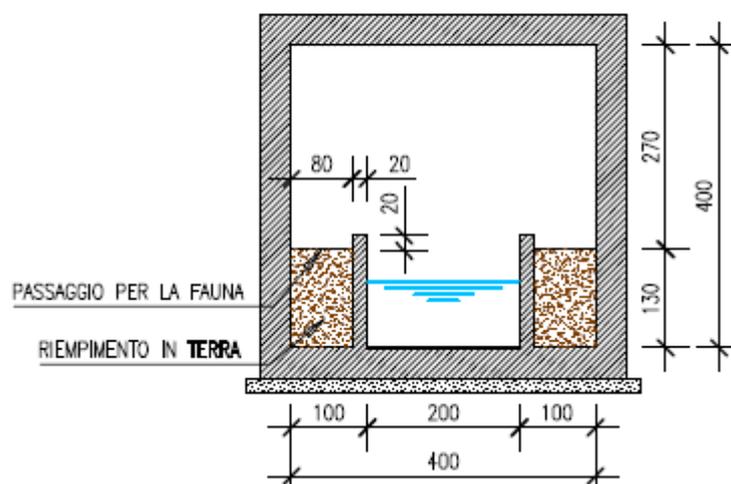



Figura 1 Esempi di adeguamento di scatolari idraulici per il passaggio della fauna

I sottopassaggi e i cavalcavia costruiti per il traffico stradale non sono, in linea generale, idonei quali passaggi per la fauna selvatica. Le strutture combinate "fauna – traffico" servono in maniera sussidiaria se il traffico è contenuto e sufficientemente lento e se la loro ampiezza è superiore o uguale a 5 metri. Per il loro adeguamento risulta necessario realizzare, almeno su un lato della strada, una fascia laterale, separata dalla piattaforma stradale, ricoperta di terreno vegetale e con un invito recintato al passaggio, che costituisca un corridoio sicuro. Occorre inoltre impedire agli animali di vedere le luci dei veicoli durante la notte, collocando schermi in materiale opaco mascherati con fasce arbustive.

3. ***qualora l'adattamento delle suddette strutture di attraversamento stradale realizzate per altre funzioni, non sia sufficiente per raggiungere gli obiettivi biologici prefissati, si deve procedere alla costruzione di opere specifiche per la fauna selvatica.***
Passaggi ad esclusivo uso faunistico vengono quindi realizzati quando la metodologia di intervento di adeguamento delle opere realizzate per altre funzioni non risulti efficace a garantire la permeabilità e connettività ecologica; la loro adozione in particolare, è in presenza di specie faunistiche vulnerabili, in zone ad alta sensibilità ecologica, in corrispondenza di rotte di spostamento chiaramente delineate e localizzate.

Esistono due tipi di opere specifiche per la fauna selvatica:

- Sottopasso
- Sovrappasso (ponti ecologici)

Sottopasso
Si tratta di un manufatto scatolare o circolare il cui substrato deve essere reso naturale e la parte centrale mantenuta sgombra per garantire buona visibilità dell'imbocco dall'altro estremo, in modo che l'animale si senta sicuro nell'attraversamento. Anche in questo caso è opportuno disporre una recinzione perimetrale adeguata oltre a vegetazione di invito agli imbocchi, per favorirne in particolare l'uso da parte delle specie di taglia minore.

Le dimensioni dei sottopassaggio possono essere molto variabili; a seconda dell'ampiezza, il sottopassaggio si presta per il passaggio di numerose specie di piccoli animali (volpi, mustelidi, anfibi) ma anche di macrofauna (soprattutto ungulati). Soprattutto per gli animali di grande taglia l'effetto galleria e l'oscurità riducono notevolmente la loro attrazione; per garantirne l'utilizzo da parte della macrofauna è auspicata un'altezza minima di 3 m, ed una larghezza minima di 4 m (cfr. fig.2). Per la piccola e media fauna può essere sufficiente una sezione 1 m×1 m.

Sovrappasso

I sovrappassi ad uso esclusivo della fauna, denominati "ecodotti", presentano dimensioni notevoli, con ampiezze minime di 20 metri. Si tratta di vere e proprie opere d'arte di scavalco delle sede stradale o di soluzioni in galleria artificiale per la realizzazione dell'infrastruttura, che presentano una forma ad imbuto, con accessi >20 metri e parte centrale >8 metri. La configurazione del sovrappassaggio e delle zone adiacenti deve essere vicina allo stato naturale dei luoghi, con la realizzazione di strutture di invito, come arbusti ed elementi lineari composti da cumuli di pietre o tronchi di alberi. Il substrato deve essere naturale, con terreno vegetale inerbito e le fasce laterali con piantumazione di essenze arbustive in modo da mantenere una continuità con il contesto vegetazionale del territorio interferito. Di regola non si piantano alberi, dato che necessiterebbero di maggior substrato e comporterebbero carichi supplementari. Attraverso la diversificazione dei substrati (sabbia, ghiaia, argilla, humus) inoltre si ottiene una migliore funzionalità per la piccola fauna. Gli accessi devono essere allo stesso livello dell'intorno, senza l'introduzione di rampe.
La presenza di protezioni sul bordo dell'ecodotto svolge la funzione di creare un corridoio sicuro, oltre a ridurre i disturbi generati dal traffico: abbagliamento e rumore. Il prolungamento degli schermi protettivi o la posa in opera di recinzione è necessaria per creare un invito verso l'ingresso del passaggio.
Trattandosi di opere molto complesse e costose è fondamentale individuarne l'ubicazione ottimale, poiché, pur avendo caratteristiche e dimensioni adeguate, possono essere di scarsa efficacia.

La scelta di utilizzo di una delle due tipologie di opere specifiche per la fauna dipende dalla tipologia stradale da attraversare, dalle caratteristiche topografiche, da esigenze di inserimento paesaggistico in contesti di particolare rilevanza ambientale, contenendo l'intrusione visiva, dalla presenza di ambienti ecologici particolarmente critici e vulnerabili.
Il sovrappasso viene generalmente selezionato per valicare tratti stradali in trincea o a raso, in corrispondenza di tratti particolarmente critici, come ad esempio in prossimità di aree boscate od in corrispondenza di corridoi faunistici; quando invece esistono difficoltà topografiche o tecniche che causano costi elevati o gli impatti paesaggistici risulterebbero troppo forti viene preferita la tipologia del sottopasso.

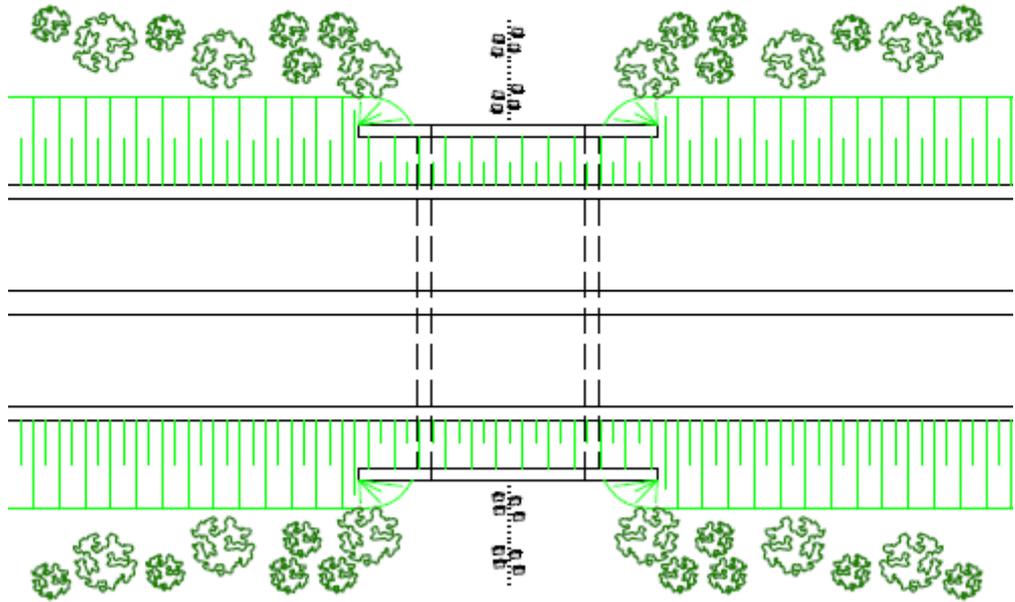
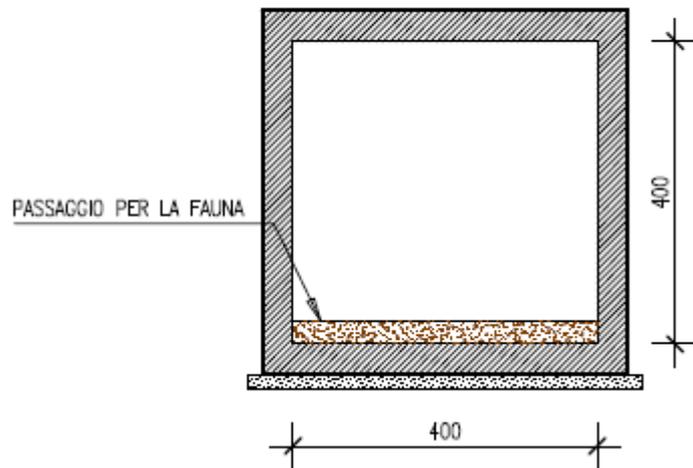



Figura 2 Sottopasso scatolare per il passaggio della fauna

Indicazioni supplementari

Per garantire una funzionalità ottimale dei passaggi faunistici è importante prestare particolare attenzione ad ogni fase: la progettazione, la costruzione, la manutenzione. Quest'ultima deve riguardare: la cura della vegetazione e degli altri elementi strutturali del passaggio e delle adiacenze; il controllo che non vi siano fonti di disturbo o altre attività perturbatrici nella zona del passaggio e delle sue adiacenze; il controllo regolare della funzionalità del passaggio per evitare l'utilizzo abusivo delle superfici riservate specificatamente al passaggio della fauna selvatica; l'attuazione di misure correttive (o adattamenti) secondo i risultati di attività di monitoraggio.

Infine per una migliore efficacia degli interventi deve essere assicurata la loro integrazione nella rete ecologica tramite il coordinamento con tutti gli eventuali interventi di valorizzazione ecologica previsti nel territorio di intervento, anche su vasta scala.

Metodologia di studio adottata nel S.I.A. per le componenti naturalistiche

Mario Bergamo, Rossella Degni
Autostrade per l'Italia

Le numerose esperienze maturate da ASPI e da altre concessionarie autostradali nell'ambito delle procedure di V.I.A., evidenziano nel tempo la crescente richiesta di tutela, da parte delle Commissioni Ministeriali e di tutti i soggetti direttamente coinvolti nel processo decisionale.
In particolare gli ambiti naturalistici sono sempre più considerati dei beni fondamentali da preservare in quanto necessari per favorire uno sviluppo economico capace di valorizzare le vocazioni ambientali tipiche del nostro territorio.
Nel corso delle procedure di V.I.A sono infatti ricorrenti le richieste di approfondimenti ed integrazioni progettuali finalizzate al conseguimento di una efficace tutela ambientale, che si traducono nell'individuazione di specifici interventi mitigativi e compensativi da attuarsi nel corso delle fasi di cantiere ed esercizio.
Detti accorgimenti, oltre a migliorare la compatibilità ambientale dei nuovi interventi sulla rete autostradale, spesso contribuiscono a recuperare situazioni di degrado generate da interventi eseguiti in periodi passati, in cui la normativa ambientale non imponeva gli attuali vincoli, e la pianificazione del territorio consentiva uno sviluppo urbanistico squilibrato che ha accentuato così il livello di criticità ambientale che spesso si registra in molte periferie urbane nate a ridosso dei nastri infrastrutturali.
A tal proposito risulta interessante il dato che emerge dai decreti di VIA espressi nel corso degli ultimi 10 anni su opere autostradali dal quale si rileva che, per un totale di 31 procedure, 26 si sono concluse con parere positivo con prescrizioni e tra queste risultano più ricorrenti quelle inerenti i seguenti aspetti:

- inquinamento acustico 93% ÷ 100%
- ingegneria naturalistica 78%
- inquinamento atmosferico 74%
- inserimento paesaggistico / opere a verde 73%
- presidi idraulici 70%
- cantierizzazione / viabilità di servizio / cave e discariche 63%
- idrogeologia / gallerie 41% ÷ 100%
- fauna 41%

Si osserva inoltre che, soprattutto a seguito di alcune problematiche emerse con le recenti realizzazioni di grandi opere quali l'alta velocità ferroviaria, la sensibilità del territorio oggi tende a spostarsi su temi più specifici ed in particolare :

- sulla tutela della risorsa idrica sia superficiale che profonda, con conseguenti richieste di maggiori garanzie di salvaguardia sia in fase di progettazione che di esecuzione;
- sulla tutela del suolo mediante una attenta definizione delle procedure di gestione dei materiali di scavo che vengono riutilizzati o depositati in apposite aree, materia questa tuttora in corso di definizione e per la quale si auspica siano definiti criteri adeguati tali da favorire al massimo il reimpiego

dei materiali di risulta riducendo così l'apertura di nuove cave e l'uso di nuove discariche;

- sulla tutela della qualità dell'aria, in merito alla quale il Ministero dell'Ambiente, anche mediante le procedure di VIA, tende a sollecitare l'adozione da parte delle Regioni e dei Comuni dei Piani di Risanamento della Qualità dell'Aria.

E' comunque evidente, che l'obiettivo perseguito da Autostrade per l'Italia e condiviso dagli Enti territoriali, di potenziare la rete esistente utilizzando la capacità residua dei corridoi, in luogo della costruzione di nuove infrastrutture, contribuisce notevolmente a ridurre gli impatti sulle reti ecologiche del territorio.
Gli studi più recenti redatti da Autostrade per l'Italia S.p.A., quali il potenziamento della A1 nei tratti adiacenti l'area fiorentina da Barberino di Mugello a Incisa Valdarno, l'ampliamento a tre corsie della A9 nel tratto Lainate – Como (Grandate), l'ampliamento a tre corsie della A14 nel tratto Rimini Nord - Pedaso e l'ampliamento a tre corsie della A1 nel tratto da Fiano Romano al grande raccordo anulare della città di Roma (G.R.A.), già prevedono al loro interno gli elementi progettuali di mitigazione messi a punto sulla base delle esperienze maturate nel passato e pertanto rappresentano un interessante esempio di come oggi sia possibile integrare le esigenze di miglioramento della rete viabilistica alle esigenze di salvaguardia dell'ambiente e del territorio.
A tale scopo, negli stessi progetti sono inseriti diversi elementi per la predisposizione di specifici piani di monitoraggio ambientale per le tre fasi di ante, corso e post operam; in particolare per il progetto di ampliamento dell'A14 è prevista un'attività sperimentale per acquisire i dati di misura necessari per verificare il livello di efficacia dei bacini di fito-depurazione che verranno realizzati per il trattamento delle acque di prima pioggia provenienti dalla piattaforma autostradale al posto dei tradizionali manufatti in cls.
Un altro interessante esempio di intervento di mitigazione, per il quale è previsto un monitoraggio post operam, è rappresentato dal viadotto con superficie rinaturalizzata che potrà essere realizzato nell'ambito del progetto di ampliamento dell'A1 nel tratto Fiano – GRA.
Detta opera avrà lo scopo di dare continuità all'area della Riserva Naturale della Marcigliana che oggi risulta attraversata dal tracciato autostradale esistente realizzato negli anni „60. In particolare si prevede di verificare l'effettivo utilizzo da parte della fauna nonché il beneficio complessivo al fine di individuare gli eventuali interventi migliorativi.
Nei capitoli che seguono, oltre alla descrizione sintetica della metodologia utilizzata per lo studio delle componenti naturalistiche contenute nei SIA, al fine di illustrare i diversi approcci di analisi e l'omogeneità delle soluzioni finali individuate per i diversi progetti, è stato riportato anche lo stralcio delle sezioni relative alla vegetazione, flora, fauna ed ecosistemi del SIA relativo al tratto della A1 Barberino Firenze Nord che esamina un ambito con prevalenti caratteristiche di naturalità nel territorio a nord della città di Firenze.

Schema metodologico per l'analisi delle componenti naturalistiche

Nell'elaborazione dei diversi studi di impatto ambientale sopra richiamati, pur rispettando le peculiarità proprie dei singoli interventi, le componenti naturalistiche vengono esaminate secondo uno schema metodologico classico di cui si riporta una breve sintesi.
In generale, il Quadro di Riferimento Ambientale di ogni singolo studio, come da normativa D.P.C.M. 27-12-1988, contiene la descrizione dell'ambiente interessato dal progetto, con riferimento alle diverse componenti naturalistiche e antropiche influenzate.
Per ogni componente esaminata gli esperti di settore hanno eseguito le necessarie indagini bibliografiche e di rilevamento sul posto ed hanno redatto una specifica relazione corredata da tavole tematiche nonché una valutazione sintetica finale.
A conclusione del quadro di riferimento ambientale, nei S.I.A, sono riportate le sezioni relative alla stima e valutazione degli impatti che integrano e sistematizzano le informazioni contenute nelle relazioni settoriali basandosi sull'utilizzo di tecniche "multicriteri semplificate".
Trattandosi di ampliamenti di infrastrutture esistenti, si è infatti optato per una forte semplificazione dei metodi comunemente utilizzati, basata sulla redazione di schede di valutazione sintetica per ciascuna componente (atmosfera, acque superficiali e sotterranee, suolo, vegetazione naturale, fauna, rumore paesaggio) che forniscono i seguenti elementi informativi:

- la descrizione del fattore causale di impatto (tipologia dell'intervento previsto)
- la descrizione delle caratteristiche e della qualità della componente allo stato attuale
- la descrizione dell'impatto atteso
- il giudizio sulla severità dell'impatto

I singoli esperti di settore hanno avuto il compito di individuare tratti di infrastruttura che danno origine ad impatti sostanzialmente omogenei in funzione del mix tra tipologia dell'intervento e condizioni ambientali preesistenti.
In alcuni casi l'infrastruttura di progetto è stata suddivisa in segmenti di 100 metri (ad esempio il tratto A1/Barberino Firenze Nord), o in tratti di maggiore estensione nei casi in cui il territorio presentava caratteristiche ambientali più omogenee (ad esempio il tratto A1/Fiano Romano – G.R.A.).
Per la valutazione delle diverse componenti ambientali è stato caratterizzato lo stato iniziale dei luoghi, con la definizione dei livelli di qualità presenti e di eventuali fenomeni di degrado in atto. Sulla base di approcci settoriali è stata eseguita una quantificazione degli impatti indotti dalla realizzazione dell'intervento, ipotizzando l'evoluzione futura della domanda di trasporto e del sistema ambientale.
I giudizi di severità dell'impatto sono stati poi elaborati per singole componenti o nelle tabelle di impatto aggregato (rumore + aria, acque superficiali + acque sotterranee, suolo + vegetazione + fauna, paesaggio) che riportano i valori mediati in base ad elementi di riferimento quali: la tipologia progettuale, la sensibilità dei ricettori influenzati, gli eventuali interventi di mitigazione realizzabili ed il relativo livello di mitigabilità degli stessi.
I dati rilevati dalla descrizione dell'ambiente hanno consentito di individuare e progettare le mitigazioni necessarie per ridurre al minimo l'interferenza del progetto nel territorio e, ove possibile, elevarne la qualità iniziale.
In particolare per le componenti vegetazione e flora sono state eseguite analisi aerofotografiche e rilevazioni fisionomiche dirette (sul campo) nonché rilevamenti

fitosociologici nei siti che presentavano caratteristiche di maggiore pregio naturalistico come i boschi o le formazioni ripariali.
La componente fauna è stata invece caratterizzata sulla base della documentazione bibliografica disponibile, e da rilievi diretti che hanno consentito di individuare gli areali e gli habitat presenti.
A livello di area vasta ed area di studio sono state inoltre individuate tutte le aree vincolate in base alle normative di riferimento[5] ed eseguite le verifiche di incidenza nei casi di interferenze con zone a protezione speciale o siti di interesse comunitario.
Per quanto concerne la cartografia di base è stata utilizzata la carta dell'uso reale del suolo, la carta fitosociologica della vegetazione, le carte del reticolo e dei bacini idrografici, la carta degli habitat faunistici.
Per la valutazione degli impatti sono stati considerati i giudizi di severità forniti dai diversi esperti di settore prima descritti.
Per la valutazione degli impatti relativi alla componente vegetazione, trattandosi di ampliamenti di strutture esistenti, è stata considerata l'occupazione permanente o temporanea di suolo dovuto all'ampliamento dell'autostrada ed alle relative opere di cantierizzazione. Relativamente alla fase esecutiva è stata pertanto valutata la modifica della destinazione d'uso del suolo, la modifica dello stato di sistemazione dei terreni per scavi per fondazioni creazione di accumuli di terra, la compattazione del suolo, l'alterazione della composizione e della struttura della vegetazione, l'alterazione della vegetazione per la presenza di inquinanti (polveri e altre sostanze).
Nei tratti dove si sono rese necessarie delle varianti fuori sede, che aumentavano la frammentazione del territorio già interessato dall'autostrada esistente, è stata inoltre valutata l'interruzione della continuità dei suoli, la sottrazione di colture erbacee ed arboree, la modificazione dei corridoi biologici che nel tempo si erano ripristinati ai margini dell'autostrada esistente.
Gli elementi considerati per la valutazione degli impatti sulla fauna e gli ecosistemi sono stati quelli legati al rischio di abbattimento della fauna nonché al disturbo causato dal rumore e dall'illuminazione delle aree autostradali; inoltre sono stati valutati gli effetti derivanti dall'alterazione dei corridoi biologici e dalla sottrazione ed alterazione degli habitat faunistici.
La valutazione di detti impatti ha portato ad inserire nei progetti interventi utili a ricostruire la continuità ambientale sopratutto in prossimità degli attraversamenti dei corsi d'acqua, mediante interventi di tipo naturale, o nelle aree interessate dagli imbocchi delle gallerie mediante rimodellamenti morfologici al fine di rendere la continuità del versante interessato dall'opera; laddove la frammentazione del territorio non era risolvibile, sono state invece previste specifiche recinzioni capaci di impedire lo scavalcamento degli animali evitando così i fenomeni di mortalità.

[5] Direttiva 92/43/ CEE "Conservazione degli Habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche";
D.P.C.M. 27/12/88 "Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all'art. 6 della legge 8/7/86 n° 349"; L. 394/91 "Legge quadro sulle aree protette" e successive modificazioni ed integrazioni;
D.P.R. 357/97 come modificato dal D.P.R. 120/03 "Regolamento recante attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli Habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche";
Piani Paesistici Ambientali Regionali; Leggi Regionali specifiche.

Caratteristiche dei principali interventi di mitigazione degli impatti strada-fauna ecosistemi

Nei punti che seguono sono riportate le caratteristiche dei principali interventi di mitigazione che in genere vengono considerati nelle progettazioni.
Parte delle misure necessarie per ridurre l'impatto sulla fauna, sono comuni a quelle previste per la vegetazione.
Si tratta di interventi finalizzati a ridurre gli impatti "distruttivi" o a ricreare habitat o condizioni ambientali più favorevoli per le specie animali. Il dimensionamento e l'ubicazione degli interventi viene definita a seguito di campagne di monitoraggio che rilevano la presenza delle specie faunistiche da proteggere.

Recinzioni
Tipologia A: é rappresentata da una rete metallica alta almeno 1 metro da terra sostenuta da appositi sostegni con una maglia larga 5 x 5. L'installazione della rete prevede l'interramento per almeno 20-30 centimetri al fine di evitare lo scalzamento da parte degli animali scavatori.
Questa tipologia, atta a ridurre l'attraversamento delle specie animali di maggiori dimensioni (lupi, cinghiali, cani), viene disposta lungo tutti i tratti di infrastruttura viaria con tipologia a raso, a rilevato e a trincea, senza soluzioni di continuità in prossimità dei ponti, viadotti, gallerie e rampe degli svincoli.
Tipologia B: è in genere proposta in prossimità degli attraversamenti dei corsi d'acqua (almeno 20 metri a destra e 20 metri a sinistra delle sponde), e prevede una sovrapposizione nella parte inferiore della recinzione di tipologia A, di una rete a maglia più stretta per evitare l'attraversamento della fauna minore in particolar modo degli Anfibi, presenti in gran numero lungo i corsi d'acqua.
In particolare la rete a maglia molto fitta (1 x 1 cm) viene disposta nella parte in basso, per i primi 20-30 cm.

Cavalcavia o gallerie artificiali
La larghezza varia da 50 a 200 m e possono servire contemporaneamente da passaggio per la fauna e da habitat intermedio per piccoli animali. Lo spessore del suolo di copertura varia da 0.5 a 2 m, al fine di permettere la crescita di vegetazione erbacea, cespugli e piccoli alberi.

Canali coperti sovradimensionati
Si prevedono in luogo dei canali sotterranei utilizzati per attraversare torrenti e piccoli fiumi o semplicemente per il passaggio al di sotto dei tratti in rilevato.
L'uso di substrati naturali, come grandi pietre piatte, possono favorirne l'uso da parte di molte specie. La costruzione di banchi su uno o entrambi i lati del corso d'acqua consentono il passaggio a secco anche durante un elevato regime idrografico.

Inserimenti di fasce di vegetazione lineari
Si prevedono fasce di vegetazione lungo i rilevati e presso gli svincoli al fine di creare dei filtri naturali ai fenomeni di inquinamento da traffico veicolare. L'obiettivo è quello di creare delle unità lineari, caratterizzate dalla presenza di elementi arborei e arbustivi variamente disposti in modo da riprodurre uno sviluppo semispontaneo.

La scelta delle essenze ricade sulle specie autoctone, poiché di più facile attecchimento ed inserimento ambientale. Nei casi in cui è possibile ampliare l'ampiezza della fascia, ovvero laddove vi è una disponibilità di aree di intervento oltre le fasce di esproprio, la fascia verde, contribuisce anche alla costituzione di un connettivo diffuso tale da comprendere una serie di microcorridoi e di unità di habitat che, anche se non specializzate, possono essere importanti ai fini di un miglioramento della diversità biologica.

Interventi di sistemazione delle sponde dei corsi d'acqua

L'obiettivo progettuale è quello di integrare le tecniche ed i materiali utilizzati nella ingegneria naturalistica con interventi atti a favorire la formazione di una fascia di vegetazione igrofila, mediante movimenti di terra sulle sponde ed impianti di specie vegetali al fine di innescare lo sviluppo ecosistemico desiderato.

In tali ambiti gli interventi di prima fase sono costituiti dai consolidamenti dell'alveo con opere trasversali e longitudinali di difesa spondale, in genere eseguite utilizzando tecniche di ingegneria naturalistica.

Una volta consolidato l'alveo si procede alla ricostruzione del mosaico di microhabitat igrofili.

Interventi di recupero ambientale con ripristino della vegetazione nelle aree oggetto di rimodellamenti morfologici

Si prevede la ricostruzione della vegetazione sottratta durante la fase di cantiere e l'infoltimento della vegetazione ripariale mediante impianti di vegetazione arborea e arbustiva igrofila autoctona.

Lo studio per il progetto di ampliamento alla 3ª corsia della A1 nel tratto Barberino – Firenze Nord

Come accennato in premessa, si riporta di seguito lo stralcio relativo allo studio di impatto ambientale eseguito per il progetto di ampliamento alla 3ª corsia della A1 nel tratto Barberino – Firenze Nord, articolato secondo la descrizione dello stato attuale, la descrizione della situazione post-operam e la definizione degli impatti per la componente ecosistemi e fauna. Lo studio di impatto ambientale è stato redatto per conto di Autostrade per l'Italia S.p.A. nel luglio 2004 dalla Società SPEA INGEGNERIA EUROPEA S.p.A. di Milano, la procedura di V.I.A. è tuttora in corso.

Componente Ecosistemi e Fauna – Stato attuale

METODOLOGIA DI ANALISI DELL'ECOSISTEMA

L'analisi ecosistemica

L'analisi ecosistemica è stata condotta sul corridoio di due chilometri di larghezza avente per asse l'attuale autostrada e le ipotesi di progetto.

Dopo una preventiva analisi della cartografia tematica attinente, prodotta con il presente studio (carta dell'uso del suolo, carta fitosociologica, carta delle unità di paesaggio) e delle ortofoto in scala 1:10.000, è stata svolta una approfondita ricerca bibliografica insieme ad un'attenta analisi di dati conoscitivi di esperti del settore con notevole esperienza sull'ambito di indagine.

Si è passati quindi ad una fase di rilievo a terra, che ha comportato la ricognizione del territorio di indagine con particolare riferimento ai punti segnalati o ritenuti significativi per la fauna. Ci si è quindi recati sui luoghi interessati dal nuovo tracciato autostradale e da quello attuale e mediate specifiche indagini valutando lo stato degli ecosistemi e giungendo, con una buona approssimazione, a prefigurare le possibili interferenze fra le nuove opere e l'ambiente.

Il metodo scelto per la descrizione degli habitat si è basato sulla descrizione delle principali caratteristiche ecosistemiche (con specifico riferimento ai popolamenti faunistici) di ciascuna delle categorie omogenee di ecosistema individuate e delle specie caratteristiche ad esse collegate („specie-guida' o ‚testimoni dello status' delle aree studiate). Con questo approccio, a differenza di altri metodi che spesso si pongono come fine principale la realizzazione di un semplice elenco di specie per ciascuna area interessata dal progetto, si è riusciti a fornire un quadro piuttosto preciso dell'equilibrio, della sensibilità e della conseguente fragilità delle diverse aree di studio.

Naturalmente, ove individuate o conosciute, sono state anche segnalate alcune emergenze presenti (presenza di specie e/o habitat rari o fortemente a rischio di impatto). Queste ulteriori precisazioni, infatti, pur esulando dal contesto metodologico generale, risultano estremamente qualificanti e caratterizzanti i singoli siti.

I risultati dell'analisi degli ecosistemi sono stati riportati nella carta degli ecosistemi principali in scala 1:10.000 per aree omogenee individuate a partire dalle carte dell'uso del suolo e della vegetazione, di cui si riporta la legenda (fig. 1 - Legenda carta degli ecosistemi).

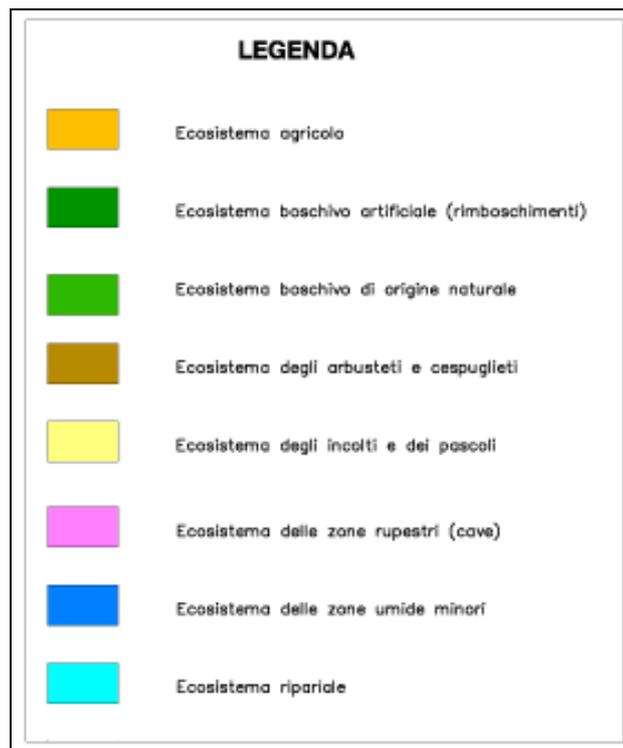



Figura. 1 - Legenda carta degli ecosistemi

Suddivisione in aree paesaggistiche omogenee

L'area interessata dall'ampliamento della terza corsia dell'Autostrada A1 nel tratto Barberino di Mugello - Firenze nord, è caratterizzata da una rapida successione di paesaggi, che vanno da quello della pianura (Pianura di Firenze e Prato) a quello della montagna preappenninica (Sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana), sino a quello della Conca intermontana del Mugello. Per effetto della disomogeneità geomorfologica, climatica e vegetazionale che si incontra lungo tutto il tratto, si realizzano una serie diversificata di ambienti che condizionano il tipo e la distribuzione della fauna.
In particolare si distinguono, da sud a nord, quattro paesaggi fondamentali:

- Nel paesaggio della Pianura di Firenze e Prato si rileva il *sottopaesaggio della pianura alluvionale* facente capo alla cosiddetta Piana Fiorentina. Quest'area posta fra Sesto Fiorentino-Calenzano e Prato, è interessata dal tratto autostradale in oggetto dal Casello di Firenze nord fino all'imbocco della galleria autostradale del "Colle" (in direzione Bologna). Attualmente questa porzione di territorio estremamente antropizzata risulta occupata da aree industriali e residenziali e risulta del tutto priva delle caratteristiche originarie.

- Nel paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana si distinguono: *il sottopaesaggio dei fondovalle dei torrenti Marina e Marinella*, che comprende le due maggiori vallate presenti e viene identificato con le aree pianeggianti o quasi pianeggianti di fondovalle e il *sottopaesaggio delle colline e dei versanti dei rilievi*, su cui fisicamente si attesta la maggior parte del tratto

autostradale in oggetto, che è caratterizzato dall'insieme dei rilievi facenti capo a Monte Morello e alla Calvana e che costituisce la prima fascia preappenninica.

- Nel paesaggio della Conca intermontana del Mugello *il sottopaesaggio collinare* caratterizza l'ultima porzione del tratto autostradale, oltre il passo delle „Croci di Calenzano' in direzione della vallata del Mugello, con un sistema collinare che, dal passo e dalle pendici più ripide dei monti retrostanti digrada in modo dolce verso l'inizio della pianura del Mugello.

Suddivisione in categorie omogenee di ambienti

All'interno dei sottopaesaggi descritti si distinguono una serie di ecosistemi caratterizzati da propri e specifici popolamenti vegetazionali e faunistici sottoposti a pressioni ed interazioni antropiche simili.
Si sottolinea che questo tipo di analisi territoriale implica ovvie semplificazioni e generalizzazioni riguardo le caratteristiche proprie degli habitat individuati e che le peculiarità che rendono unico ciascun luogo vengono qui generalizzate per poter ricavare categorie omogenee funzionali al presente studio.
La rappresentazione cartografica di tale suddivisione è fornita dalla carta degli habitat faunistici, alla scala di 1:10.000 e corredata della specifica legenda.

In particolare nel paesaggio della Pianura di Firenze e Prato sottopaesaggio della pianura alluvionale sono state individuate le seguenti principali categorie di ecosistema:
Ecosistema agricolo (C)
Ecosistema degli incolti e dei pascoli (D)
Ecosistema urbano (I)

Nel paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana:
sottopaesaggio dei fondovalle dei torrenti Marina e Marinella sono state individuate le seguenti principali categorie di ecosistema:
Ecosistema agricolo (C)
Ecosistema degli incolti e dei pascoli (D)
Ecosistema ripariale (F)
Ecosistema urbano (nuclei abitati e infrastrutture viarie) (I)

Nel sottopaesaggio delle colline e dei versanti dei rilievi sono state individuate le seguenti principali categorie di ecosistemi:
Ecosistema boschivo (A – B)
A) di origine naturale
B) di origine artificiale (rimboschimenti – parchi/giardini)
Ecosistema agricolo (C) e Ecosistema degli incolti e dei pascoli (D)
Ecosistema degli arbusteti e cespuglieti (E)
Ecosistema delle zone umide (G)
Ecosistema delle zone rupestri (vecchi fronti di cava) (H)
Ecosistema urbano (nuclei abitati e infrastrutture viarie) (I)

Nel paesaggio della Conca intermontana del Mugello sottopaesaggio collinare sono state individuate le seguenti principali categorie di ecosistema:

Ecosistema boschivo (A – B)
A) di origine naturale
B) di origine artificiale (rimboschimenti – parchi/giardini)
Ecosistema agricolo (C)
Ecosistema degli incolti e dei pascoli (D)
Ecosistema degli arbusteti e cespuglieti (E)
Ecosistema ripariale (F)
Ecosistema delle zone umide (G)
Ecosistema urbano (nuclei abitati e infrastrutture viarie) (I)

Le Categorie ecosistemiche

Paesaggio della Pianura di Firenze e Prato – sottopaesaggio della pianura alluvionale

Ecosistema agricolo (C)
La Piana Fiorentina è una pianura di origine alluvionale posta fra le città di Firenze, Prato e Pistoia. Essa mostra oggi il segno delle pesanti opere di bonifica progressivamente realizzate nei secoli con compromissione pressochè completa del reticolo idrico superficiale (Scoccianti, 2001a; Scoccianti & Cigna, 1999 e 2000). In particolare dal 1930 in poi l'ambiente, fino ad allora ancora visibilmente caratterizzato da zone acquitrinose e prati umidi, fu sottoposto ad opere idrauliche e strutturali imponenti che ne hanno cambiato radicalmente le caratteristiche e conferito l'attuale configurazione. In particolare a tutto ciò ha portato l'ampia alterazione e artificializzazione dei corsi d'acqua principali (nella zona di studio il torrente Chiosina) e secondari, con trasformazione in canali, spesso anche con alvei e sponde in cemento.
Oggi la maggior parte del territorio della Piana Fiorentina, laddove non sono sorti negli ultimi decenni grossi complessi residenziali e industriali, appare caratterizzato da campi agricoli. Anche nella porzione oggetto di studio sono ancora presenti numerosi di questi appezzamenti.

Le pratiche agronomiche maggiormente utilizzate sono quelle legate alle tecniche dell'agricoltura di tipo intensivo, con la conseguenza che questo tipo di habitat risulta, rispetto ad altri agro-ecosistemi, carente degli elementi ad alto valore ecologico utili alla sopravvivenza della fauna, quali siepi, piccoli boschi, filari di alberi, alberi solitari, scoline con sponde mantenute non coltivate, fasce a riposo, etc. In tali condizioni le presenze floro-faunistiche di rilievo appaiono generalmente scarse e/o localizzate proprio nelle zone ove permangono piccoli lembi relitti di ambienti maggiormente diversificati. L'importanza per le specie faunistiche della presenza di questi caratteri differenziatori negli agrosistemi è confermata dagli studi di molti Autori come Beebee 1975; BTCV, 1975 e 1977; Lack, 1988; Ledant, 1989; Meeus et al., 1990; Fry, 1991; Gerard, 1995; Cotti et al., 1997; La Mantia, 1997; Tucker, 1997; Scoccianti, 2001a.

In queste situazioni estremamente semplificate le popolazioni faunistiche risentono della presenza delle numerose barriere ecologiche rappresentate dalle infrastrutture lineari, come strade e ferrovie (Quadrelli, 1984; Mostini, 1985 e 1988; Mocci Demartis, 1987; Reh & Seitz, 1990; Aragoneses et al., 1993; PMVC-CODA, 1993; Fahrig et al.,

1995; Scoccianti, 1996, 2000b, 2001a e 2001b; Findlay & Houlahan, 1997; Forman & Alexander, 1998; Vos & Chardon, 1998; Scoccianti & Cigna, 1999; Findlay & Bourdages, 2000; Forman, 2000; Scoccianti & Ferri, 2000; Scoccianti et al., 2000 e 2001), canali cementati (Hartwig, 1992; Fujioka & Lane; 1997; Scoccianti, 2001a; Scoccianti & Cigna, 1999; Traverso & Alvarez, 2000) e recinzioni (Scoccianti, 2001a; Scoccianti & Cigna, 1998).

Data la vocazione generale dell'area quale zona umida, molte specie faunistiche di rilievo si possono osservare in relazione ai pochi lembi residui di questi ambienti, oggi rappresentati da piccoli fossetti e bassure, nonché alle zone marginali ove sono presenti ancora siepi, filari di alberi, ecc.

Anche lungo i fossetti di drenaggio agricolo, ove si manifestano le condizioni per lo sviluppo della vegetazione palustre, si instaurano fasce particolarmente interessanti ascrivibili agli ecosistemi „canneto' e „prato allagato'. Fra le specie floristiche più caratteristiche di questi ambienti si ricordano la Mazzasorda maggiore (*Typha latifolia*), la Lenticchia d'acqua (*Lemna minor*), la Cannuccia di palude (*Phragmites australis*), il Ranuncolo acquatico (*Ranunculus trichophyllus*), l'Iris di palude (*Iris pseudacorus*), il Coltellaccio maggiore (*Sparganium erectum*), la Giunchina (*Eleocharis palustris*) a cui si aggiungono numerose altre piante acquatiche tipiche degli ambienti umidi acquitrinosi fra cui varie specie di giunchi, carici, ecc.

Fra le specie di uccelli che nidificano e/o trovano rifugio in questi ambienti citiamo: il Cannareccione (*Acrocephalus arundinaceus*), e la Cannaiola (*Acrocephalus scirpaceus*). Nello stesso ambiente si osservano fra i mesi di febbraio e giugno le ovodeposizioni di consistenti popolazioni di alcune specie di Anfibi, ormai molto rare su tutto il territorio[6], come il Rospo smeraldino (*Bufo viridis*), la Raganella (*Hyla intermediaI*), e i due Tritoni crestato (*Triturus carnifex* -indicato anche nella Direttiva Comunitaria Habitat, 92/43/CEE del 21/5/1992) e punteggiato (*Triturus vulgaris*) (Scoccianti 1998a, 1998b, 2001a, 2001c, 2002).

In particolare queste specie sono visibili lungo i fossetti caratterizzati dalla vegetazione acquatica differenziata e presso le rare bassure allagabili talvolta presenti nei campi. Nel contesto generale del territorio agricolo è utile ricordare che tutte le precedenti specie di Anfibi vivono durante la maggior parte dell'anno (fasi attive; fasi di svernamento ed estivazione) nei terreni circostanti alle piccole zone umide dove si riproducono, presso le siepi, i margini dei campi coltivati, zone a cespugli (Scoccianti, 2001a).

Nelle siepi, specialmente in quelle alberate, nidificano numerose specie ornitiche, fra cui si ricordano: Cinciarella (*Parus caeruleus*), Cinciallegra (*Parus major*), Cardellino (*Carduelis carduelis*), Merlo (*Turdus merula*), Capinera (*Sylvia atricapilla*), Verdone (*Carduelis chloris*). Nelle formazioni vicine i corsi d'acqua può nidificare anche l'Usignolo di fiume (*Cettia cetti*). Inoltre si segnala per la Piana in queste siepi la possibile nidificazione delle ormai rare Averla piccola (*Lanius collurio*) e Averla

---

[1] si ricorda che tutti gli Anfibi risultano protetti dalla Convenzione Internazionale di Berna del 19 settembre 1979, adottata dallo stato italiano con L. 503/81.

capirossa (*Lanius senator*)[7]. Entrambe le specie sono anche comprese nell'Allegato II della Convenzione di Berna del 19 settembre 1979, ratificata dall'Italia con la L. 503/81 e la L. 157/92.

Gli ambienti marginali appena descritti sono importanti anche per le specie delle due classi faunistiche facenti capo ai Rettili e ai Mammiferi; fra i Rettili si ricordano in particolare: Ramarro (*Lacerta bilineata*), la Natrice dal collare (*Natrix natrix*), il Biacco (*Coluber viridiflavus*) e l'Orbettino (*Anguis fragilis*), fra i Mammiferi si ricordano la Volpe (*Vulpes vulpes*) e il Riccio (*Erinaceus europaeus*), a cui vanno aggiunte numerose specie di micromammiferi. E' presente anche la nutria (*Myocastor coypus*).

Ecosistema degli incolti e dei pascoli (D)
Questo ecosistema presente in modeste superfici e inframmezzato alle aree coltivate è caratterizzato generalmente da terreni fino a pochi anni addietro coltivati e in seguito abbandonati o utilizzati quali aree di pascolo. Questi terreni presentano oggi caratteristiche ecologiche più evolute e differenziate rispetto ai terreni agricoli coltivati descritti nel paragrafo precedente e, quindi, rivestono un valore maggiore dal punto di vista faunistico.

Il ruolo ecologico di questi ambienti nel contesto generale dei campi agricoli della Piana è riassumibile nei seguenti punti:

- contribuiscono in modo determinante alla conservazione delle specie che popolano il territorio agricolo nel suo complesso, offrendo notevoli occasioni alimentari e di rifugio;
- permettono la sopravvivenza e la riproduzione di specie particolari, adattate alle caratteristiche di questi ambienti, come l'Allodola (*Alauda arvensis*), Saltimpalo (*Saxicola torquata*), Beccamoschino (*Cisticola juncidis*), Strillozzo (*Miliaria calandra*).

Nella categoria delle aree in abbandono possono essere inclusi gli ambienti legati a vecchi edifici agricoli abbandonati, le vecchie strutture murarie, i casali con la vegetazione arborea limitrofa. Fra le specie presenti in questi areali possono essere citati alcuni rapaci notturni quali la Civetta (*Athene noctua*) il Barbagianni (*Tyto alba*) l'Allocco (*Strix aluco*) e alcune specie di Chirotteri.

Ecosistema urbano (L)
Per completezza metodologica viene fatto un breve cenno anche al popolamento faunistico di questo particolare tipo di ambiente che, pur non potendosi configurare come ambiente naturale propriamente detto, è estesamente presente in quest'area e ospita diverse specie faunistiche.

Come già accennato molte zone di questo tratto della Piana Fiorentina si presentano estesamente urbanizzate, potendosi distinguere zone dove è prevalente l'edilizia di tipo residenziale e zone dove predomina quella di tipo commerciale-industriale. Generalmente, pur con tutte le pesanti modifiche apportate dalle costruzioni, che hanno

[7] segnalata fra le specie vulnerabili nella Lista rossa dell'avifauna nidificante in Toscana, Sposimo & Tellini, 1995

ovviamente mutato completamente l'aspetto e lo status dei siti, sono le zone residenziali quelle dove è possibile verificare casi di avvistamento e talvolta anche di coabitazione con l'uomo (nidificazione) di alcune specie faunistiche selvatiche, in genere rappresentate da uccelli come merli (*Turdus merula*), passeri (*Passer italiae*), rondini (*Hirundo rustica*), balestrucci (*Delichon urbica*), Rondoni (*Apus apus*), ecc.
Questo fenomeno è dovuto sia alle caratteristiche fisiche delle costruzioni che influiscono sulle condizioni microclimatiche generando minore escursione termica invernale, sia al fatto che generalmente attorno agli insediamenti vengono preservate o realizzate ex novo fasce alberate o spazi di verde pubblico e soprattutto alle notevoli occasioni trofiche suppletive e costanti durante tutto l'anno.
Per quanto vi siano comunque alcune specie, particolarmente opportuniste, capaci di sopravvivere in tali ambienti, bisogna considerare che si tratta di ambienti completamente artificializzati, di nessun valore ecosistemico, e quindi non molto sensibili a nuove cause di impatto sulla fauna in seguito alla costruzione di nuove infrastrutture.

Paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana – sottopaesaggio dei fondovalle dei torrenti Marina e Marinella

Ecosistema agricolo (C)
L'ecosistema agricolo tipico dei fondovalle fluviali si può riscontrare solo nel primo tratto di vallata del torrente Marina (dalla zona di S. Angelo in direzione nord fino alla strettoia in prossimità di 'La Chiusa' fra le colline, poco oltre Casa Lenzi – Fornace). Nella restante parte del loro corso i torrenti in oggetto corrono molto incassati nelle loro valli e non offrono spazi adeguati all'agricoltura. Questo tipo di agricoltura non si discosta molto da quello descritto nel paragrafo precedente (Ecosistema agricolo dell'Area della Pianura di Firenze e Prato), fatto salvo per alcuni appezzamenti coltivati ad ulivo e a vite. Per le caratteristiche ecologiche principali di questo ecosistema si faccia quindi riferimento al paragrafo precedente.

Ecosistema degli incolti e dei pascoli (D)
L'importanza di questo ecosistema è già stata discussa nel paragrafo 0 (si veda, quindi, tale paragrafo per le principali caratteristiche ecologiche, ove si fa riferimento alla presenza di questi habitat in un contesto più ampio di zone agricole intensive). Lo stesso tipo di ecosistema è comunque interessante nel caso si trovi immerso in contesti differenti, divenendo un importante ecotono (sistema di confine – passaggio) fra ambienti più vasti e omogenei. In questi ultimi due casi non è però possibile a priori definire le „specie guida', dato che queste variano moltissimo a seconda dell'ubicazione e delle caratteristiche degli ecosistemi confinanti. È quindi opportuno, per le „specie guida' di riferimento per questo tipo di habitat, fare riferimento, caso per caso, agli ambienti circostanti.

Ecosistema ripariale (F)
Il tracciato autostradale esistente e quello in progetto nel tratto compreso fra il km 5 e il km 14 (chilometrica del tracciato in progetto), corre per brevi tratti in esterno parallelamente al corso del torrente Marina, sia pur ad una certa distanza e a mezza costa. All'incirca presso il km 12+600 attraversa su viadotto il torrente Marinella.

Le opere connesse al tratto autostradale, le strade di cantiere e i cantieri stessi interessano, poi, dei piccoli ruscelli che scorrono sulle pendice collinari scendendo verso i corsi d'acqua in oggetto.
Interazioni sono prevedibili anche per la viabilità di servizio (Bretella 6), che è stata localizzata lungo il corso del Fosso Rimpolli: in questo caso la strada segue tutto il corso del ruscello per circa 2 km andando a interagire con le fasce spondali e/o l'alveo stesso.
Infine sull'ecosistema ripariale dello stesso ruscello andrà ad interagire anche la prevista utilizzazione come area di cantiere del vecchio fronte di cava in località Pontenuovo.

Tutti i corpi idrici in oggetto, sia di grandi che di piccole dimensioni, scorrendo in zone ancora in gran parte naturali, presentano buone caratteristiche ambientali. Entrambi i due torrenti di dimensioni maggiori sono caratterizzati a tratti da fasce ripariali a bosco, a volte anche di una certa ampiezza.
L'alveo dei due corsi d'acqua principali presenta, inoltre, una certa diversità ambientale (isolotti, raschi, buche, etc.) ed una larghezza sufficiente alla presenza spesso di fasce dalle caratteristiche ecologiche differenziate, come di seguito indicato:

- *zona ad acqua libera corrente*;
- *zone limose*;
- *zone ghiaiose*;
- *zone d'acqua libera debolmente corrente, nelle vicinanze della vegetazione ripariale*;
- *zone a tifeto e/o canneto*;
- *fasce laterali a vegetazione arbustiva e arborea.*

L'ecosistema fiume, nel suo complesso, costituisce un habitat importante per la presenza e la vita stessa di numerosissime specie di vertebrati ed invertebrati.
Oltre alle specie che risultano particolarmente adattate per loro caratteristiche all'ecosistema fluviale, altre appaiono legate in diverso rapporto e risultano, quindi, anch'esse dipendenti dalla presenza di questo habitat sul territorio.
In particolare si può ricordare il ruolo di questo ecosistema come „corridoio biologico' („area di collegamento biologico'), avente funzione di tramite e di collegamento fra ecosistemi diversi o distanti fra loro (ad esempio molte delle specie ornitiche utilizzano i corsi fluviali come vie preferenziali per le migrazioni).
Di seguito sono sinteticamente descritte alcune fra le relazioni che si instaurano fra le specie di Uccelli e gli ecosistemi umidi ripariali, in base alle diverse caratteristiche dell'habitat:

- *zona ad acqua libera corrente: costituisce il sito di alimentazione del Martin pescatore (Alcedo atthis), e di altre specie fra cui Rondine (Hirundo rustica), Balestruccio (Delichon urbica) e Topino (Riparia riparia), che predano insetti volando sulla superficie;*
- *zone sabbiose, limose e ghiaiose: costituiscono il sito di alimentazione di Ardeidi (fra cui si ricordano l'Airone cenerino (Ardea cinerea), la Garzetta (Egretta garzetta), la Nitticora (Nictycorax nictycorax), di Limicoli, come ad*

esempio il Piro piro piccolo (Tringa hypoleuco) e altre specie come le ballerine (Motacilla cinerea e Motacilla alba);

- *zone ad acqua libera debolmente corrente, nelle vicinanze della vegetazione ripariale: costituiscono le aree di sosta ed alimentazione di specie come la Gallinella d'acqua (Gallinula chloropus) e il Germano reale (Anas platyrhynchos);*
- *zone a tifeto/canneto: costituisce il sito di nidificazione ed alimentazione di numerose specie fra cui Gallinella d'acqua (Gallinula chloropus), l'Usignolo di fiume (Cettia cetti) il Cannareccione (Acrocephalus arundinaceus) e la Cannaiola (Acrocephalus scirpaceus);*
- *fasce a vegetazione ripariale arbustiva e arborea: queste aree, lasciate evolvere spontaneamente, costituiscono consistenti fasce boscate. Pur ricordando che vi trovano rifugio e vi nidificano importanti specie ornitiche (solo per citare due esempi il Pendolino (Remiz pendulinus) e l'Usignolo di fiume (Cettia cetti)), si ritiene interessante sottolineare il ruolo insostituibile della vegetazione ripariale come fascia di protezione (fascia cuscinetto), fra ecosistema fiume vero e proprio e le zone terrestri limitrofe; queste stesse fasce contribuiscono notevolmente alle funzioni di „corridoio biologico' dell'ecosistema fluviale permettendo vere e proprie vie protette per il passaggio della fauna terrestre.*

Sempre in relazione ai Vertebrati terrestri è noto che questi ecosistemi ripariali, e in particolare l'alveo del torrente Marinella, rivestono un ruolo importante anche come aree riproduttive per varie specie di Anfibi.

A questo proposito va segnalata la situazione nota per i ripetuti censimenti effettuati lungo il tratto della Strada Provinciale che conduce dall'incrocio „La Chiusa' al paese di Legri (S.P. di Toiano). Nel tratto di strada compreso fra la località „La Signorina' e „Quercia Mengola' si verifica ogni anno una migrazione riproduttiva di Anfibi (in particolare della specie *Bufo bufo*) verso l'area riproduttiva costituita dal letto del torrente Marinella (Scoccianti: inedito, dati dell'Archivio personale sulle Aree Riproduttive e di Migrazione degli Anfibi nella Provincia di Firenze). Inoltre il torrente Marinella è da ritenersi importante anche come area riproduttiva di Salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata*), specie rara, tipica di ambienti ben conservati, che rappresenta un endemismo, di genere, appenninico italiano. Il corso d'acqua in oggetto è altresì area riproduttiva di Rana rossa (*Rana italica*) e di Rana verde (*Rana* synklepton *esculenta*) (Vanni S.: dati dell'Archivio Erpetologico Regionale della Sezione Zoologica La Specola, Università degli Studi di Firenze, in via di pubblicazione come Atlante Erpetologico della Regione Toscana). L'epicentro della migrazione è collocato nel tratto centrale della strada in questione, in corrispondenza del vecchio fronte di cava (in località Signorina), in riva sinistra del torrente Marinella.

Ecosistema urbano (L)

In questo paesaggio le attività dell'uomo sono quasi esclusivamente di tipo agricolo o residenziale, con bassa densità dei nuclei abitati che permette un'integrazione fra uomo e aspetti naturali del territorio. Non sono presenti aree artigianali o industriali, tranne che nell'area pianeggiante in riva sinistra del torrente Marina nei pressi di Calenzano (località S. Angelo). Si registrano comunque, data la vicinanza alla città, numerose infrastrutture viarie di grandi e modeste dimensioni, molto trafficate, che possono

costituire fonte di interferenza con la fauna locale, anche in relazione al possibile aumento del traffico causato dai lavori.

Paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Caldana – sottopaesaggio delle colline e dei versanti dei rilievi di maggiori dimensioni

Ecosistema boschivo (A – B)
A) di origine naturale
B) di origine artificiale (rimboschimenti)

Questo tipo di ambiente di interesse floro-faunistico e paesaggistico caratterizza come elemento principale l'area di studio; in genere si tratta di querceti decidui xeromorfi (lonicero etruscae) – *Quercetum pubescentis* assoc. provv.) (Bechi, 1987) di origine secondaria, gestiti a ceduo, rappresentanti comunque ciò che resta del patrimonio forestale tipico del preappennino, di una certa importanza ecologica per la sopravvivenza di molte specie faunistiche.
Oltre alle formazioni sopra descritte si rilevano nella zona che circonda le Croci di Calenzano anche ampie superfici utilizzate nei decenni passati per opere di rimboschimento con conifere (*Cupressus sempervirens, Pinus nigra*, ecc.). Questo tipo di formazioni vegetali, spesso coeve, monospecifiche e con vari altri caratteri di artificialità (densità molto elevate, assenza di sottobosco, ecc.) non presentano un valore ecologico come i boschi naturali, ma talvolta ospitano specie rare.

Quello che segue è un elenco commentato di specie ‚guida' faunistiche per questi ambienti boschivi:

Anfibi: Per molte specie di questa classe, l'ambiente boschivo rappresenta uno degli habitat principali dove trovare rifugio e svolgere le fasi di estivazione e svernamento (Scoccianti, 2001a). L'importanza delle aree boscate ai fini della conservazione di queste specie è sottolineata da diversi AA, come ad esempio Bury (1983), Pough et al. (1987), Raymond & Hardy (1991), Petranka et al. (1993), DeMaynadier & Hunter (1998), Waldick (1997), Herbeck & Larsen (1999), Werner & Glennemeier (1999), Scoccianti (2001a).

In questo ecosistema risiedono popolazioni di:
Salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata*), Geotritone (*Speleomantes italicus*), Rospo comune, (*Bufo bufo*), Rana rossa (*Rana italica*), Rana verde (*Rana* synklepton *esculenta*) (Vanni S.: dati facenti parte dell'Archivio Erpetologico Regionale della Sezione Zoologica La Specola, Università degli Studi di Firenze, in via di pubblicazione come Atlante Erpetologico della Regione Toscana). Queste specie utilizzano per riprodursi le acque dei piccoli o piccolissimi corsi d'acqua che solcano le pendici dei rilievi; per la restante parte dell'anno e durante le fasi di estivazione e svernamento vivono nella lettiera del bosco e, in certi casi, anche nelle aree ad arbusti e cespugli, nei campi incolti o sui bordi dei campi agricoli attigui ai boschi.

La già accennata presenza di siti di riproduzione di *Salamandrina terdigitata* nel torrente Marinella (vedi paragrafo Ecosistema ripariale (F) nella descrizione del Paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana) e l'utilizzo

da parte della stessa specie dei versanti boscati della vallata come aree di svernamento, attività trofica ed estivazione rappresenta un elemento di valore del sistema boschivo presente.
Si può, quindi, sottolineare che in base alle caratteristiche ambientali e alle esigenze delle specie, la *Salamandrina terdigitata* e il Geotritone (*Speleomantes italicus*) sono probabilmente presenti sui versanti dei rilievi che guardano il torrente Marina (in riva sinistra). Le caratteristiche dell'habitat appaiono, infatti, molto adatte, in particolare sul versante che dal crinale degli abitati di Torre e di Valluccia di Sopra e di Poggio Montroti guarda il torrente Marina verso ovest e, più a nord, sul versante che dagli abitati di L. Collina - C. Griccianoche e di C. Tralloro guarda sempre verso ovest, ove sarà realizzato parte del tracciato del nuovo tratto ed un cantiere secondario del Lotto 1. La stessa situazione è rinvenibile per la viabilità di servizio prevista lungo il corso del Fosso Rimpolli (Bretella 6).

Rettili: Anche per molte specie di questa classe l'ambiente boschivo risulta importante.
Sono frequenti il Biacco (*Coluber viridiflavus*), il Saettone (*Elaphe longissima*), la Biscia dal collare (*Natrix natrix*); ai margini delle aree boscate, in zone quindi più soleggiate, è possibile osservare la Luscengola (*Chalcides chalcides*), il Ramarro (*Lacerta bilineata*), l'Orbettino (*Anguis fragilis*), la Lucertola muraiola (*Podarcis muralis*) e la Lucertola campestre (*Podarcis sicula*).

Uccelli: La presenza di folte chiome in cui nascondersi o costruire un nido protetto, la facilità nel reperimento di fonti trofiche nei querceti assicurano l'esistenza ad un certo gruppo di Uccelli.
Fra le specie più caratteristiche che nidificano si ricordano: Ghiandaia (*Garrulus glandarius*), Pettirosso (*Erithacus rubecula*), Occhiocotto (*Sylvia melanocephala*), Merlo (*Turdus merula*), Capinera (*Sylvia atricapilla)*, Luì piccolo (*Phylloscopus collybita*), Codibugnolo (*Aegithalos caudatus*), Cinciallegra (*Parus major*), Cinciarella (*Parus coeruleu*), Cuculo (*Cuculus canorus*), Scricciolo (*Troglodytes troglodytes*), Sterpazzolina (*Sylvia cantillans*), Rampichino (*Certhia brachydactyla*), Fringuello (*Fringilla coelebs*), Canapino (*Hippolais polyglotta*), Usignolo (*Luscinia megarhynchos)*, Tortora comune (*Streptotelia turtur*), Upupa (*Upupa epops*), Rigogolo (*Oriolus oriolus*).
I boschi di Pino nero (rimboschimenti), pur ospitando una comunità ornitica più povera e con specie più comuni, assumono importanza in quest'area per la nidificazione di vari Rapaci (Biancone, *Circaetus gallicus*; Sparviero, *Accipiter nisus*; e Poiana, *Buteo buteo*) (Sposimo, 1988a).
Dato lo sfruttamento forestale dei soprassuoli, con particolare riferimento ai boschi naturali, non sono in genere presenti specie tipiche di popolamenti maturi (Piciformi, *Sitta*) (Sposimo, 1988b).

Mammiferi: Le aree boscate rappresentano il sito elettivo per il rifugio, oltre che per l'alimentazione, della maggioranza delle specie di Mammiferi.
Sono presenti: Scoiattolo comune (*Sciurus vulgaris*), Volpe (*Vulpes vulpes*), Istrice (*Hystrix cristata*), Faina (*Martes foina*), Donnola (*Mustela nivalis*), Riccio (*Erinaceus* europaeus), Moscardino (*Muscardinus avellanarius*) e molti altri micromammiferi. E' presente anche il cinghiale (*Sus scrofa*) (Capaccioli *et al*., 1987).

Ecosistema agricolo (C) e Ecosistema degli incolti e dei pascoli (D)
Nell'ambito di un paesaggio ampiamente dominato dalle aree a bosco, la zona in oggetto presenta, dispersi a macchia di leopardo, sia campi agricoli sia, in maggior numero campi abbandonati, a riposo e/o a pascolo. Dato che questi ambienti risentono della vicinanza sia delle ampie zone boscate, sia delle fasce ripariali di fondovalle, non può essere descritta una fauna tipica, in quanto spesso questa è la stessa degli ambienti boscati e ripariali che utilizza queste aree agricole in vario modo e in vari periodi dell'anno per spostamenti, alimentazione e talvolta siti di rifugio e nidificazione alternativi. Ciò accade specialmente se, come nel caso in oggetto, l'agricoltura viene attuata con metodo non intensivi e permangono fra i campi agricoli vari microhabitat dal grande valore faunistico quali siepi, fasce alberate, cespugli, muretti a secco, piccoli canaletti e pozze, etc. L'importanza di questi „elementi differenziatori' per la fauna è ricordata da molti Autori: Simms, 1969; Beebee 1975; BTCV, 1975 e 1977; Lack, 1988; Loman, 1988; Ledant, 1989; Meeus *et al*., 1990; Fry, 1991; Gerard, 1995; Cotti *et al*., 1997; La Mantia, 1997; Tucker, 1997; Oldham & Swan, 1997; Scoccianti, 2001a. E' utile ricordare inoltre che sono proprio questi stessi elementi ambientali, inseriti nel contesto generale di queste pendici e vallate, quelli che vanno a costituire quella trama di elementi che rende peculiare il paesaggio della zona.

Ecosistema degli arbusteti e cespuglieti (E)
Inframezzate alle vaste aree a bosco, in zone caratterizzate spesso da situazioni geologiche particolari (versanti più scoscesi o franosi) o in corrispondenza di campi agricoli abbandonati da decenni o infine in aree percorse nel passato più o meno recente da vasti incendi, si distinguono vaste aree caratterizzate dalla presenza di cespugli e arbusti (zone a macchia), talvolta con radure più o meno vaste.
Queste aree costituiscono habitat importanti ai fini del sostegno trofico e della conservazione delle presenze faunistiche e sono, inoltre, da ritenersi fondamentali per la presenza di alcune specie.

Nella maggior parte dei casi la vegetazione è caratterizzata da arbusti di Ginestra comune (*Spartium junceum*), talvolta di Prugnolo (*Prunus spinosa*) e di Biancospino (*Crataegus monogina*), con specie ausiliarie quali *Clematis sp., Lonicera sp., Rosa sp., Rubus sp*., ecc. Talvolta vi si rinvengono anche elementi isolati o piccoli gruppi relitti di Roverella (*Quercus pubescens*) e di Orniello (*Fraxinus ornus*). Man mano che tali habitat raggiungono le zone alle quote maggiori ancora localmente utilizzate come pascoli, aumenta la presenza di elementi di *Prunus spinosa* e *Crataegus monogina* e compaiono altre specie come il Ginepro (*Juniperus communis*).

Le specie nidificanti in queste aree sono le seguenti: Occhiocotto (*Sylvia melanocephala*), Merlo (*Turdus merula*), Codibugnolo (*Aegithalos caudatus*), Cinciallegra (*Parus major*), Cuculo (*Cuculus canorus*), Sterpazzolina (*Sylvia cantillans*), Sterpazzola (*Sylvia communis*), Canapino (*Hippolais polyglotta*), Usignolo (*Luscinia megarhynchos)*, Averla piccola (*Lanius collurio*), Tottavilla (*Lullula arborea*). In particolare si segnala in queste aree, con particolare riferimento alle zone di radura prive di alberi e arbusti, la presenza come nidificante dell'Ortolano (*Emberiza hortulana*) (Sposimo, 1988b), specie inclusa nella Lista Rossa Toscana fra le specie vulnerabili (Sposimo & Tellini, 1997).

Ecosistema delle zone umide (G)
Con il termine zone umide si indicano numerosissimi tipi di habitat e microhabitat caratterizzati dalla presenza in superficie di acqua durante gran parte dell'anno. Date le caratteristiche geomorfologiche dell'area oggetto di studio, con il termine zona umida si intendono in questo caso gli habitat generalmente contraddistinti da acque ferme o debolmente correnti isolate da altri corpi idrici di rilievo. Fra questi habitat si comprendono, quindi, stagni, laghetti collinari, pozze, antiche raccolte di acqua, anche trasformate dall'uomo in vasche, lavatoi, o simili.

Tutte questi tipi di zone umide, sparse nel territorio in esame, rivestono un ruolo importante per molte specie faunistiche di vertebrati e invertebrati. Le „specie guida' per questo tipo di habitat sono alcune specie di Anfibi, che utilizzano proprio tali ambienti come aree riproduttive (Scoccianti, 2000a, 2001) e, in particolare, si cita il *Bufo bufo* (Scoccianti ined., dati dell'Archivio personale sulle Aree Riproduttive degli Anfibi nella Provincia di Firenze). Sebbene appena fuori della fascia di 1 km analizzata come area di studio è importante, inoltre, evidenziare il bacino artificiale in località Torricella, che si raggiunge per mezzo di una strada sterrata dalle Croci di Calenzano, dato che le popolazioni che utilizzano tale area per riprodursi risiedono in gran parte anche nel territorio limitrofo di indagine. Si tratta di un invaso di origine artificiale, ma ormai rinaturalizzatosi spontaneamente e ben inserito nell'area anche da un punto di vista paesaggistico.

Ecosistema delle zone rupestri (vecchi fronti di cava) (H)
In varie zone, lungo i versanti delle vallate del torrente Marina e del torrente Marinella, si collocano vecchi fronti di cava abbandonati, anche da molti anni, che, pur di origine artificiale, si sono in gran parte evoluti, assumendo un aspetto naturaliforme a falesia (colore e consistenza della parete rocciosa più simile al naturale, vari arbusti e cespugli nati spontaneamente, ecc.) e andando ormai a costituire un ecosistema roccioso grazie al quale molte specie particolamente adattate a tali habitat possono essere presenti fra la fauna locale. Come specie guida si possono citare fra gli Uccelli varie specie di Rapaci e il Passero solitario (*Monticola solitarius*). Naturalmente le caratteristiche fisiche di questi habitat hanno offerto possibilità di rifugio anche a varie altre specie tipiche degli ambienti rocciosi quali, oltre ad altri uccelli, specie appartenenti, ad esempio, alla classe dei Rettili e degli Anfibi.

Ecosistema urbano (nuclei abitati e infrastrutture viarie) (I)
In questo paesaggio sono presenti scarsi nuclei abitati costituiti da vecchi casolari ristrutturati, antiche ville o ruderi. Le strutture di queste vecchie case, quando non ristrutturate con metodi moderni o sotto forma di ruderi, garantiscono ad alcune specie varie occasioni di rifugio e nidificazione.
Data la particolare situazione non è possibile considerare i nuclei abitati sparsi in questo paesaggio come veri ecosistemi urbani ed è preferibile, a seconda delle caratteristiche naturali proprie di ciascuna area, inserire ciascun caso specifico nelle tipologie ecosistemiche più vicine a cui si farà di volta in volta riferimento.

Per ciò che riguarda la viabilità si registra, comunque, un reticolo piuttosto diffuso sul territorio anche se in parte non asfaltato; tale reticolo e il traffico correlato, anche in ore notturne, può essere causa di impatto su varie specie faunistiche (Scoccianti, 2001a). E'

possibile, quindi, che l'aumento del traffico causato dalle opere possa portare in alcune aree ad un aumento degli effetti della mortalità stradale.

Paesaggio della Conca Intermontana del Mugello – sottopaesaggio collinare

Ecosistema boschivo (A – B)

Per quanto riguarda le caratteristiche e l'importanza di questo tipo di ecosistema si fa riferimento a quanto scritto per lo stesso tipo di ecosistema nel paragrafo relativo al Paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana. In particolare si sottolinea la minor estensione di aree di rimboschimento con conifere.

Ecosistema agricolo (C) e Ecosistema degli incolti e dei pascoli (D)

Per quanto riguarda le caratteristiche e l'importanza di questo tipo di ecosistema si faccia riferimento a quanto scritto per lo stesso tipo di ecosistema nel paragrafo relativo al Paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana.

Ecosistema degli arbusteti e cespuglieti (E)

Tale ecosistema non è molto rappresentato nell'area: si faccia comunque riferimento a quanto scritto per lo stesso tipo di ecosistema nel paragrafo relativo al Paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana.

Ecosistema ripariale (F)

Quest'area collinare è solcata da tre principali piccoli corsi d'acqua tutti affluenti di destra del fiume Sieve nei pressi del Casello di Barberino: il fosso Scopicci, il rio Mulinaccia e il fosso Ritortolo. Il fosso Scopicci e il rio Mulinaccia presentano caratteristiche ecologiche sufficientemente naturali per la maggior parte del loro corso ed anche aspetti paesaggistici di un certo interesse, mentre il Fosso Ritortolo appare più artificializzato per la presenza lungo il corso dell'abitato di Cornocchio e della Strada Provinciale. Pur nei limiti imposti dalla stagionalità si è rilevato che le caratteristiche ecologiche dei due corsi d'acqua e le fasce a bosco limitrofe indicano la presenza di biocenosi sufficientemente ben strutturate.

Ecosistema delle zone umide (G)

Per quanto riguarda le caratteristiche e l'importanza di questo tipo di ecosistema si fa riferimento a quanto scritto per lo stesso tipo di ecosistema nel paragrafo relativo al Paesaggio del sistema appenninico di Monte Morello e Monti della Calvana.
In quest'area sono noti vari siti di interesse per la riproduzione di alcune specie di Anfibi, in particolare per *Bufo bufo* (Scoccianti ined., dati dell'Archivio personale sulle Aree Riproduttive degli Anfibi nella Provincia di Firenze). Va, inoltre, citata la presenza di un bacino artificiale in località C. Petrizzi, raggiungibile tramite una piccola strada dal cavalcavia autostradale sito in corrispondenza del Casello autostradale di Barberino

del Mugello, che risulta appena fuori della fascia di lavoro di 1 km, ma che influenza le popolazioni che risiedono nel territorio di indagine.

Ecosistema urbano (nuclei abitati e infrastrutture viarie) (L)
Per questo ecosistema si fa riferimento a quanto scritto per lo stesso tipo di ecosistema nel paragrafo relativo al Paesaggio della Pianura di Firenze e Prato.

Componente Ecosistemi e Fauna – Situazione post operam e definizione impatti

CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI IMPATTI DEL TRACCIATO

L'analisi degli impatti potenziali attesi è stata effettuata a partire dalla caratterizzazione della sensibilità ecosistemica.

La sensibilità degli ambienti interessati dal potenziamento alla terza corsia rispetto alla Fauna è stata valutata assegnando valori che tengono conto delle peculiarità bio-ecologiche di ciascun habitat e più precisamente dei seguenti requisiti (tab. 1 – Matrice per il calcolo della sensibilità ecosistemica):

- sono presenti le specie e/o le popolazioni più rare o più a rischio di estinzione;
- la/e porzione/i esaminata/e nell'area di intervento si configura/ano come una parte di un'area più vasta dello stesso tipo di ecosistema la cui funzionalità ecologica (ad esempio di „area di collegamento ecologico') è garantita dall'insieme di tutte le porzioni esistenti;
- l'habitat svolge una funzione ecologica molto importante nell'ambito dei diversi ecosistemi attigui (ad esempio un corso d'acqua che assume il ruolo di area di collegamento ecologico anche per specie faunistiche legate agli altri ecosistemi che vi prendono contatto).

Ecosistema	**Sensibilità**
Boschivo Nat.	4
Boschivo Art.	2
Agricolo	1
Incolti e Pascoli	4
Arbusteti e Cespuglieti	4
Ripariale	5
Zone Umide Minori	5
Zone Rupestri (cave)	3
Urbano	0

Tabella 1 – Matrice per la valutazione della sensibilità ecosistemica degli habitat

Data la difficoltà oggettiva di valutare impatti privi di una sostanziale componente soggettiva per tratti di 100 metri, così come richiesto dalla tabella di analisi degli

impatti, sono state approntate due matrici che valutano l'impatto atteso rispetto all'ecosistema interessato rispetto ad una determinata tipologia dell'opera.

Per ciò che riguarda la **fase di costruzione** gli **impatti potenziali** sugli ambienti interessati dal potenziamento alla terza corsia rispetto alla fauna in assenza di mitigazioni sono stati quindi valutati secondo la seguente matrice.

	Tipologia opera					
Ecosistema	**Rilevato**	**Trincea**	**Mezzacosta**	**Galleria**	**Viadotto**	**Cantiere**
Boschivo Nat.	4	4	4	0	3	4
Boschivo Art.	2	2	2	0	2	2
Agricolo	2	2	2	0	2	2
Incolti e Pascoli	4	4	4	0	3	4
Arbusteti e Cespuglieti	4	4	4	0	3	4
Ripariale	5	5	5	0	4	5
Zone Umide Minori	4	4	4	0	3	5
Zone Rupestri (cave)	3	3	3	0	2	3
Urbano	0	0	0	0	0	0

Tabella 2 – Matrice per la valutazione degli impatti attesi in fase di costruzione in assenza di mitigazioni

Nella tabella che segue invece è indicato l'**impatto potenziale** sugli ambienti interessati dal potenziamento alla terza corsia rispetto alla Fauna nella **fase di esercizio** in assenza di mitigazioni.

	Tipologia opera				
Ecosistema	**Rilevato**	**Trincea**	**Mezzacosta**	**Galleria**	**viadotto**
Boschivo Nat.	4	4	4	0	2
Boschivo Art.	2	2	2	0	1
Agricolo	2	2	2	0	1
Incolti e Pascoli	4	4	4	0	2
Arbusteti e Cespuglieti	4	4	4	0	2
Ripariale	5	5	5	0	3
Zone Umide Minori	4	4	4	0	3
Zone Rupestri (cave)	3	3	3	0	0
Urbano	0	0	0	0	0

Tabella 3 – Matrice per la valutazione degli impatti attesi in fase di esercizio in assenza di mitigazioni

In entrambi i casi i valori più alti riguardano gli ecosistemi nei quali:

- sono presenti le specie e/o le popolazioni più rare o più a rischio di estinzione;
- la/e porzione/i esaminata/e nell'area di intervento si configura/ano come una parte di un'area più vasta dello stesso tipo di ecosistema la cui funzionalità ecologica (ad esempio di „area di collegamento ecologico') è garantita dall'insieme di tutte le porzioni esistenti;
- l'habitat svolge una funzione ecologica molto importante nell'ambito dei diversi ecosistemi attigui (ad esempio un corso d'acqua che assume il ruolo di area di

collegamento ecologico anche per specie faunistiche legate agli altri ecosistemi che vi prendono contatto).

L'utilizzo delle precedenti tabelle non ha l'intento di fornire valori assoluti di impatto, ma permette di uniformare i livelli di giudizio e renderli parzialmente oggettivi, identificando approssimativamente il livello di impatto atteso; si deve infatti tenere presente che gli effettivi valori di impatto vengono valutati in loco, caso per caso, soprattutto in relazione alla presenza dell'autostrada esistente.

Quando, ad esempio, il tracciato della nuova autostrada si distacca da quello esistente, l'impatto sulle popolazioni è stato valutato come significativo (per il rischio di isolamento) solo nei casi in cui fra le aree a lato dei due tracciati (esistente e progetto) non permanga un corridoio sufficientemente ampio atto a collegare gli ambienti (ad esempio al di sotto di un viadotto od al di sopra di una galleria).

I valori che sono riportati nella tabella di sintesi degli impatti sono stati dunque tarati caso per caso, a seconda dello stato di conservazione del luogo e/o della presenza o meno di alcune delle specie guida indicate nel capitolo relativo alla descrizione dello stato attuale.

Una volta definiti gli impatti del tracciato si sono considerati gli interventi di mitigazione fra cui l'importante adozione di recinzioni antiattraversamento della sede autostradale da parte degli animali.

Individuazione preliminare delle aree critiche e delle interferenze significative

Generalità

Il tratto di autostrada in progetto interessa vari ecosistemi in cui risultano presenti aree di interesse faunistico, rispetto alle cui caratteristiche l'opera potrebbe mostrare impatti di diversa intensità in relazione alla tipologia costruttiva.

L'analisi ecosistemica del territorio studiato, eseguita in base ai risultati dello studio faunistico, ha portato alle seguenti conclusioni che fungono da premessa per l'interpretazione del metodo applicato:

1) il territorio attraversato (fascia preappenninica) si configura come una fascia omogenea con ecosistemi sufficientemente ben conservati, poco abitata e, in genere, poco condizionata da usi antropici ad alto impatto. Conseguentemente il valore generale dell'area come ecosistema a se stante e come area di collegamento ecologico fra aree vaste attigue è considerabile molto alto.

2) In quest'ottica, cioè in base ad un'analisi prettamente ecosistemica d'insieme (land-scape ecology), il tracciato autostradale esistente è giudicabile come opera in grado di limitare o impedire in molte zone la funzionalità ecologica d'insieme con particolare riferimento all'effetto barriera, cioè all'ostacolo che esso rappresenta per

il libero spostamento delle popolazioni e/o le specie residenti nei territori circostanti. E' ovvio che questo effetto barriera del tratto esistente è alto, basso o anche non presente a seconda dei tratti considerati, sia perché vari tratti passano in sotterranea (gallerie, al di sopra delle quali l'ecosistema si mostra connesso rispetto ai lati, lasciando quindi ampia libertà di movimento alle specie) o su viadotto (al di sotto del quale l'ecosistema resta connesso) sia per l'alto grado di rinaturalizzazione spontanea raggiunto in queste aree.

3) Sempre facendo riferimento ad un giudizio sulla qualità ecosistemica generale dell'area studiata e sulle possibilità di impatto delle grandi infrastrutture di tipo lineare che possono essere causa di una frammentazione del territorio in due o più porzioni (Vos & Chardon, 1988; Farhig *et al.*, 1995; Cotti *et al.*, 1997; Scoccianti, 2001), l'analisi del nuovo tracciato, proprio in riferimento a quello esistente e a quanto, a seconda dei tratti analizzati, si allinea (in pratica configurandosi come un allargamento del vecchio) o se ne discosta (modifica del percorso, divenendo un'infrastruttura a se stante) è stata condotta facendo riferimento a ciascuna singola porzione nei confronti del quadro ecosistemico d'insieme e delle caratteristiche strutturali dell'opera.

4) I risultati di questo tipo di analisi hanno portato ad evidenziare che gli impatti più alti sugli ecosistemi si potranno verificare nei casi in cui il nuovo tracciato si distacca da quello già esistente, in quanto gli ecosistemi a lato risulteranno suddivisi da una doppia barriera, e quando, dal punto di vista delle caratteristiche dell'opera, il tracciato autostradale taglia gli ecosistemi al di fuori di tratti in galleria o viadotto (possibilità di contatto diretto fra le specie in transito e l'ambiente modificato (fase di costruzione) o l'ambiente modificato e il traffico veicolare (fase di esercizio). In altri termini un individuo che necessita di spostarsi da un lato all'altro della fascia compresa tra i due tracciati autostradali avrà in fase di costruzione e a maggior ragione durante quella di esercizio, maggiori possibilità di invadere le aree autostradali rispetto alla situazione preesistente o comunque la sua attività nell'area sarà più soggetta a tutti quei fattori di disturbo derivanti da tale tipo di infrastruttura (rumore, sagome in movimento, dispersione sostanze gassose o altri tipi di sostanze e oggetti, ecc.).

5) Dal punto di vista ecologico si può, quindi, prevedere come nel medio/lungo periodo le problematiche più importanti siano legate ad un progressivo possibile isolamento di popolazioni faunistiche meno capaci di sfruttare, per il passaggio, i tratti di „ponte naturale' rimasti (gallerie e viadotti). Quanto detto sopra, in particolare, acquista maggiore importanza per le popolazioni che si troverebbero „intercluse' all'interno dei due tracciati autostradali, col relativo rischio di diminuzione nel numero di individui, la cui sopravvivenza a medio/lungo periodo risulterebbe a maggior ragione proprio connessa alla persistenza di adeguati collegamenti ecologici, che permettano facili scambi di individui con le popolazioni esterne (Vos & Chardon, 1988; Farhig *et al.*, 1995; Scoccianti, 2001).

6) In prima analisi risulta importante la necessità di operare interventi di mitigazione, in modo tale che i tracciati risultino il meno possibile causa di:

- impedimento fisico al libero passaggio delle specie (barriere insuperabili per lunghi tratti);
- perdita continua di habitat e individui a causa dell'impatto durante le fasi di realizzazione del nuovo tracciato (lavorazioni varie, non solo nella sede fisica di realizzazione del nuovo tracciato, ma anche nelle aree di cantiere e in quelle interessate alla viabilità connessa).

Valutazione degli impatti attesi sulla fauna

Generalità

Gli impatti più significativi attesi sulla componente fauna in fase di esercizio sono quelli legati principalmente a tre elementi: la sottrazione di habitat, l'effetto barriera e l'aumento della mortalità per collisione. Tali impatti sono stati valutati tenendo presente che l'infrastruttura prevista si affianca ad un'autostrada esistente e, di conseguenza, in un contesto già interferito. Tuttavia l'intervento in progetto si caratterizza per lunghi tratti in viadotto e in galleria, riducendo notevolmente l'impatto sulla componente in esame.

Nei successivi paragrafi si descrive la tipologia di impatto atteso sugli ecosistemi maggiormente sensibili.

1) <u>Ecosistema ripariale</u>

Come descritto nei paragrafi precedenti, con il termine ecosistema ripariale si indica l'insieme dell'alveo e delle fasce spondali con vegetazione ripariale. Gli ecosistemi ripariali di qualsiasi dimensione e sia che rechino acqua perennemente sia che si mostrino secchi durante le stagioni più siccitose, sono considerati ambienti ad alta sensibilità.

Gli impatti più significativi in fase di costruzione sono legati ai cantieri sia come presenza che come realizzazione nelle immediate vicinanze di questi habitat.

Vi è, infatti, la possibilità di interruzione della funzione di „corridoio ecologico' che questo ecosistema ha non solo rispetto alle specie faunistiche specificatamente adattate, ma anche a numerose specie faunistiche tipiche di altri ecosistemi.

In particolare, in assenza di opere di protezione, vi è la possibilità di veicolamento di sostanze inquinanti a valle con conseguente possibile contaminazione del corso d'acqua per ampi tratti e ripercussioni negative su gli ecosistemi attigui. E' anche opportuno sottolineare che per fenomeni di inquinamento non si deve intendere solo inquinamento da sversamento di sostanze chimiche estranee, ma anche sversamento di polveri o altro materiale in genere considerato inerte, il cui particellato comunque va a modificare le caratteristiche ecologiche del corso d'acqua con pesanti ripercussioni sulle biocenosi.

In fase di esercizio, facendo astrazione dagli eventi accidentali, si attende principalmente un aumento dell'effetto barriera, nei tratti in rilevato, e della mortalità per investimento, laddove il sistema di recinzione dovesse risultare danneggiato.

2) *Ecosistema boschivo, ecosistema degli arbusteti e cespuglieti, ecosistema degli incolti e dei pascoli*

Questi ecosistemi, che vengono interessati in molti tratti dalla nuova opera, rivestono particolare importanza per molte specie, anche rispetto alle loro caratteristiche funzionali di aree di collegamento ecologico. Gli impatti più significativi attesi in fase di esercizio si configurano nella sottrazione di superficie, nella mortalità per investimento e nell'effetto barriera; in fase di cantiere essi sono paragonabili a quelli descritti nel precedente paragrafo.

Impatti dovuti all'esercizio dell'infrastruttura

Dall'analisi complessiva del territorio studiato, si individua come area a maggior rischio di impatto per la qualità ecologica d'insieme del territorio in oggetto la fascia che va dall'imbocco sud della Galleria „Le Croci' al km. 12. Si tratta di una porzione molto vasta di ecosistema boschivo, attraversato da numerosi corsi d'acqua di medie e piccole dimensioni, estremamente interessanti dal punto di vista faunistico. In questo tratto il nuovo tracciato passa distaccato e più o meno parallelo all'esistente tracciato realizzato negli anni „60, andando a costituire una seconda barriera ecologica. La presenza di vasti tratti in galleria e su viadotto limita in parte di questo effetto che però resta alto negli altri tratti. Occorre poi considerare, in termini di permeabilità, dell'adattamento della fauna alla presenza dell'attuale autostrada.

Si possono prevedere possibili interazioni con varie specie faunistiche, con particolare riferimento alle migrazioni riproduttive degli Anfibi.

Alto rimane anche il rischio di frammentazione dell'habitat e di interruzione del „corridoio' ecologico rappresentato dai sopracitati corsi d'acqua all'interno delle piccole valli.

Le specie „guida' cui far riferimento per caratterizzare lo status dell'ecosistema boschivo e dei corsi d'acqua che lo attraversano e per l'adozione di misure di mitigazione appartengono alla classe degli Anfibi. Fra le varie specie si menzionano quelle ritenute maggiormente rare e riportate in tabella 4:

a. Geotritone (*Speleomantes italicus*), specie inserita nell'Allegato II della Convenzione di Berna e nella Legge Regionale 56/2000;
b. Salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata*), specie inserita nell'Allegato B della Direttiva 92/43/CEE, nell'Allegato II della Convenzione di Berna e nella Legge Regionale 56/2000.

Specie	Nome comune	Direttiva 92/43/CEE Allegato B	Convenzione di Berna Allegato II	L.R. 56/2000
Speleomantes italicus	Geotritone		X	X
Salamandrina terdigitata	Salamandrina dagli occhiali	X	X	X

Tabella 4 - Specie guida di Anfibi per le aree boschive e ripariali dei versanti dei rilievi in oggetto

Impatto dovuto ai cantieri, alle aree di deposito e alle piste di cantiere

Nei paragrafi seguenti si analizzeranno i cantieri e la viabilità relativa che hanno mostrato, come meglio evidenziato nella tabella riepilogativa, impatti significativi sulla fauna (rango 4 o 5). Per la descrizione tipologica dei cantieri e delle strade di cantiere si rimanda alle specifiche tabelle di valutazione degli impatti.

Vengono inoltre indicate, ove possibile, le specie guida, cioè gli animali più rappresentativi dell'habitat considerato, sul quale tarare anche gli interventi di mitigazione.

Area di cantiere „Viadotto Mulinaccia' CA01; Bretelle VN.01- 02 – 03

Il cantiere si colloca presso lo svincolo di Barberino a ridosso del Fosso Mulinaccia, interessando un ecosistema ripariale.

Durante le fasi di costruzione e di esercizio del cantiere e delle bretelle esiste un rischio significativo per le popolazioni faunistiche presenti nell'area, in particolare durante l'esercizio.

In fase di dismissione del cantiere e delle bretelle l'utilizzo da parte della fauna della zona in oggetto dopo la rimozione del cantiere dipenderà dal tipo di danneggiamento subito durante la costruzione e l'attività del cantiere, dal tipo di ripristini effettuati successivamente alla dismissione e dal tempo trascorso dal momento della esecuzione di questi ultimi.

Sarebbe inoltre auspicabile prevedere che la viabilità di servizio creata ex nuovo venga rimossa (e l'habitat preesistente ripristinato) o che almeno non resti aperta al pubblico dopo la dismissione dei cantieri.

Nuova Area di Servizio Bellosguardo Ovest

In fase di costruzione dell'area di sevizio la piccola valle dove scorre il Fosso Camborsino sarà colmata con terreno di riporto per la realizzazione della Nuova Area di Servizio „Bellosguardo Ovest'. La realizzazione di quest'opera prevede la completa modifica dell'habitat esistente.

In fase di esercizio dell'area di servizio si può prevedere un possibile disturbo sulla fauna legato alle attività dell'area per una fascia limitrofa di alcune centinaia di metri.

Area di cantiere „Viadotto Baccheraia' (CA04); Area di cantiere „Imbocco Nord Galleria Le Croci' (CA05); Bretella VN.06

L'area di cantiere si colloca presso l'imbocco nord della galleria Le Croci, interessando l'ecosistema degli arbusteti e cespuglieti e l'ecosistema ripariale. La zona più sensibile corrisponde all'area nei dintorni della località Santa Caterina.

Durante le fasi di costruzione e di esercizio dei cantieri e delle bretelle esiste un rischio significativo per le popolazioni faunistiche presenti nell'area.

In fase di dismissione del cantiere e delle bretelle l'utilizzo da parte della fauna della zona in oggetto dopo la rimozione del cantiere dipenderà dal tipo di danneggiamento subito durante la costruzione e l'attività del cantiere, dal tipo di ripristini effettuati successivamente alla dismissione e dal tempo trascorso dal momento della esecuzione di questi ultimi.

La specie „guida' cui far riferimento per l'adozione di misure di mitigazione, appartiene alla classe degli Uccelli ed è l'Ortolano (*Emberiza hortulana*) che, come indicato nella sottostante tabella 5, è inserita nell'Allegato I della Direttiva 79/409/CEE, nella Lista Rossa degli Uccelli nidificanti in Toscana (B* = mediamente vulnerabili), nella Legge Regionale 56/2000 e nel livello 2 (specie con status di conservazione sfavorevole e popolazione concentrata in Europa) della categoria SPEC (Species of European Conservation Concern di Birdlife International).

Specie	Nome italiano	Direttiva 79/409/CEE Allegato I	Convenzione di Berna Allegato II	Lista Rossa Toscana Uccelli Nidificanti	L.R. 56/2000	Categoria SPEC Livelli 1-2-3
Emberiza hortulana	Ortolano	X		B*	X	2

Tabella 5 - Specie „guida' per la località S. Caterina

Area di cantiere „Imbocco Sud Galleria „Le Croci', imbocco Nord Galleria „Trafforo' (CA06); Area di cantiere „Imbocco Sud Galleria „Trafforo' (CA07); Area di cantiere „Imbocco Nord Galleria Monte della Valle' (CA08); Bretelle VN.07 - 08.

L'opera è prevista su una vasta area di ecosistema boschivo con alcune aree ad arbusti e cespugli disseminate al suo interno. Gran parte delle aree di cantiere andranno inoltre ad interagire con il bacino imbrifero del Fosso Rimpolli (corso d'acqua principale e suoi affluenti: rio sotto Viadotto Goccioloni I, rio sotto Viadotto Goccioloni II, ecc.). In particolare la Bretella VN.08 passa a ridosso dell'alveo di tale corso d'acqua per circa 2 km.

In fase di costruzione dei cantieri e delle bretelle si prevedono possibili interazioni con varie specie faunistiche con particolare riferimento alle migrazioni riproduttive degli Anfibi. Alto rischio di investimento di specie faunistiche sulle bretelle previste, specialmente di tutte quelle che necessitano di prendere rapporto con il corso d'acqua. Alto rischio di frammentazione dell'habitat e di interruzione del „corridoio' ecologico rappresentato dal corso d'acqua e dalle sue sponde all'interno di questa valle.

Fase di esercizio dei cantieri e delle bretelle: rischi per le popolazioni faunistiche presenti nell'area.

Fase di dismissione dei cantieri e delle bretelle: l'utilizzo da parte della fauna della zona in oggetto dopo la rimozione del cantiere dipenderà dal tipo di danneggiamento subito durante la costruzione e l'attività dei cantieri (e relativa viabilità di servizio), dal tipo di ripristini effettuati successivamente alla dismissione e dal tempo trascorso dal momento della esecuzione di questi ultimi.
Sarebbe inoltre auspicabile prevedere che la viabilità di servizio creata ex nuovo venga rimossa (e l'habitat preesistente ripristinato) o che almeno non resti aperta al pubblico dopo la dismissione dei cantieri, perché in tal caso la stessa andrebbe a rappresentare nel futuro una minaccia costante per l'integrità dell'ecosistema della piccola valle in quanto permetterebbe un facile accesso con i mezzi a motore a chiunque e per qualsiasi scopo.

Le specie ‚guida' cui far riferimento per caratterizzare lo status di questo ecosistema boschivo e i corsi d'acqua che lo attraversano e per l'adozione di misure di mitigazione appartengono alla classe degli Anfibi. Le specie considerate sono i già citati Geotritone (*Speleomantes italicus*) e la Salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata)*.

Area di cantiere Pontenuovo (CA26)

Trattasi di un vecchio fronte di cava abbandonato da vari anni. Tale area, pur di origine artificiale, si mostra oggi in gran parte evoluta ed ha assunto un aspetto naturaliforme a falesia (colore e consistenza della parete rocciosa più simile al naturale, vari arbusti e cespugli nati spontaneamente, ecc.) tale da costituire un interessante ecosistema rupestre. L'area è anche immediatamente adiacente al corso d'acqua Fosso Rimpolli.

In fase di costruzione e di esercizio dei cantieri sono possibili dei rischi per le popolazioni faunistiche presenti. In particolare si sottolinea che l'opera verrà realizzata immediatamente a ridosso del corso d'acqua Fosso Rimpolli e conseguentemente vi sono rischi per l'integrità di questo ecosistema.

La specie ‚guida' cui far riferimento per l'adozione di misure di mitigazione appartiene alla classe degli Uccelli ed è il Passero solitario (*Monticola solitarius*) che, come indicato nella sottostante tabella 6, è inserita nell'Allegato II della Direttiva 79/409/CEE, nella Lista Rossa degli Uccelli nidificanti in Toscana (B* = mediamente vulnerabili), nella Legge Regionale 56/2000 e nel livello 3 (specie con status di conservazione sfavorevole e popolazione non concentrata in Europa) della categoria SPEC (Species of European Conservation Concern di Birdlife International).

Specie	Nome italiano	Convenzione di Berna Allegato II	Lista Rossa Toscana Uccelli Nidificanti	L.R. 56/2000	Categoria SPEC Livelli 1-2-3
Monticola solitarius	Passero solitario	X	B*	X	3

Tabella 6 - Specie ‚guida' per l'area di Pontenuovo

Area di cantiere „Imbocco Sud Galleria „Monte della Valle' imbocco Nord Galleria „Collina' (CA09); Area di cantiere Imbocco Sud Galleria „Collina'; Area di Cantiere Imbocco Nord Galleria „Montroto' (CA10)

I cantieri si collocano nei pressi degli imbocchi di tre gallerie e vanno ad occupare tutta l'area posta sotto dei due viadotti con evidenti gravi ripercussioni sulla qualità degli ecosistemi ripariali presenti sotto questi due viadotti. L'opera è inoltre prevista su un'area caratterizzata da ecosistema boschivo.

In fase di costruzione e di esercizio dei cantieri sono possibili dei rischi per le popolazioni faunistiche presenti, con particolare riferimento agli Anfibi. Nello specifico in fase di costruzione è presente il rischio di frammentazione dell'habitat e di interruzione del „corridoio' ecologico rappresentato dai corso d'acqua presenti con le relative sponde.

Le specie ‚guida' cui far riferimento per caratterizzare lo status di questo ecosistema boschivo e i corsi d'acqua che lo attraversano e per l'adozione di misure di mitigazione appartengono alla classe degli Anfibi. Le specie considerate sono i già citati Geotritone (*Speleomantes italicus*) e la Salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata)*.

Area di cantiere „Imbocco Sud Galleria Montroto' (CA11); Area di cantiere imbocco Nord Galleria „Formicaio' (CA12); Area di cantiere „Imbocco Sud Galleria „Formicaio' (CA13); Area di cantiere imbocco Nord Galleria „Torraccia 1' (CA14); Area di cantiere „Imbocco Sud Galleria Torraccia 1 (CA15); Area di cantiere „Imbocco Sud Galleria Torraccia 2' (CA17); Area di cantiere imbocco Nord Galleria „Torraccia 2 (CA16); Area di cantiere imbocco Nord Galleria „Ragnaia' (CA17); Area di cantiere imbocchi intermedi „Galleria Ragnaia' (CA18); Area di cantiere „Imbocchi intermedi Galleria Ragnaia' (CA19); Bretella VN.13 – 14 – 15 – 16 - 17; Viabilità dell'eventuale nuovo Casello autostradale per collegamento con la sottostante Strada Provinciale di fondovalle che collega Calenzano con le Croci di Calenzano

L'opera è prevista su una vasta area di ecosistema boschivo. Gran parte di questo vasto insieme di aree di cantiere poste a poca distanza le une dalle altre andrà, inoltre, ad interagire con i corsi d'acqua che solcano le piccole vallecole (rii sotto al Viadotto 'La Cassiana'; Rio sotto al Viadotto 'Podere Vecchio'; Rio sotto al Viadotto 'Torraccia 1'; Rio sotto al Viadotto 'Torraccia 2; Rio in corrispondenza dell'Area di cantiere CA18

Imbocchi intermedi „Galleria Ragnaia'; Rio in corrispondenza dell'Area di cantiere CA19 Imbocchi intermedi „Galleria Ragnaia').

In fase di costruzione e di esercizio dei cantieri e delle bretelle si hanno rischi per le popolazioni faunistiche presenti nell'area, con particolare riferimento alle migrazioni riproduttive degli Anfibi. In fase di costruzione, in particolare, anche gran parte della viabilità di servizio, sia di nuova realizzazione che quella già esistente, andrà ad interagire sull'ambiente boschivo (in particolare la VN.13 – 14 – 15 – 16 – 17 e la viabilità dell'eventuale nuovo Casello autostradale) e sui corsi d'acqua presenti (in particolare la VN.14 – 15 – 16). Problematico risulta il rischio di investimento di specie faunistiche su tutte le bretelle previste e il rischio di frammentazione dell'habitat e di interruzione del „corridoio' ecologico rappresentato dalle fasce boschive e dai singoli corsi d'acqua al loro interno.

In fase di dismissione dei cantieri e delle bretelle l'utilizzo da parte della fauna della zona in oggetto dopo la rimozione del cantiere dipenderà dal tipo di danneggiamento subito durante la costruzione e l'attività dei cantieri (e relativa viabilità di servizio), dal tipo di ripristini effettuati successivamente alla dismissione e dal tempo trascorso dal momento della esecuzione di questi ultimi.
Sarebbe, inoltre, auspicabile prevedere che la viabilità di servizio creata ex nuovo venga rimossa (e l'habitat preesistente ripristinato) o che almeno non resti aperta al pubblico dopo la dismissione dei cantieri.

Le specie „guida' cui far riferimento per caratterizzare lo status di questo ecosistema boschivo e i corsi d'acqua che lo attraversano e per l'adozione di misure di mitigazione appartengono alla classe degli Anfibi. Le specie considerate sono i già citati Geotritone (*Speleomantes italicus*) e la Salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata)*.

Area di cantiere „Viadotto Marinella' (CA21); Bretella VN.18.

In questo paragrafo viene trattata l'area di cantiere „Viadotto Marinella' insieme alla Bretella 18 per analogia di ecosistema attraversato e per vicinanza fra le due opere (anche se la bretella serve da collegamento per un altro tratto dei cantieri autostradali).

Il poggio che fiancheggia in direzione nord la Strada Provinciale (S.P. di Toiano) è particolarmente ricco di vecchi muri a secco e, quindi, costituisce un sito importante dal punto di vista paesaggistico e da quello faunistico (area di rifugio e termoregolazione per Rettili, area di rifugio per micromammiferi, area di possibile rifugio per Anfibi; area di possibile nidificazione di alcune specie ornitiche).

In fase di costruzione e di esercizio del cantiere e della bretella si hanno, di conseguenza, rischi per le popolazioni faunistiche presenti nell'area.

In fase di dismissione del cantiere e della bretella l'utilizzo da parte della fauna della zona in oggetto dopo la rimozione del cantiere dipenderà dal tipo di danneggiamento subito durante la costruzione e l'attività del cantiere, dal tipo di ripristini effettuati

successivamente alla dismissione e dal tempo trascorso dal momento della esecuzione di questi ultimi.

Area di deposito Pizzidimonte (AD02)

Trattasi di un vecchio fronte di cava abbandonato da vari anni. Tale area, pur di origine artificiale ha assunto un aspetto naturaliforme a falesia (colore e consistenza della parete rocciosa più simile al naturale, vari arbusti e cespugli nati spontaneamente, etc.) tale da costituire un interessante ecosistema rupestre che permette la presenza di specie con particolari adattamenti, nonostante la vicinanza di un nucleo abitato (Scarselli).

In fase di costruzione, dato che la trasformazione del sito in area di deposito trasformerà in gran parte questo ecosistema sono prevedibili gravi danni alle popolazioni locali di specie ad esso legate.

In fase di esercizio del cantiere sono prevedibili rischi per le popolazioni faunistiche presenti nell'area.

In fase di dismissione dopo la trasformazione in deposito l'utilizzo da parte della fauna della zona in oggetto dopo la trasformazione in deposito dipenderà dagli interventi realizzati e dal tempo trascorso dal momento della conclusione di questi ultimi. In ogni caso diminuendo la superficie disponibile a „roccia nuda' o addirittura scomparendo tale ecosistema, le specie che potranno tornare a colonizzare il sito saranno in gran parte diverse dalle attuali.

Area di cantiere „Principale Lotto 1' (CA02)

Data l'ubicazione si ritiene non si ritiene particolarmente alto l'impatto sulla fauna causato da questo cantiere in tutte e tre le fasi (costruzione, esercizio, dismissione)

Campo Lotto 2 „Ex Polveriera' (CA20)

Data l'ubicazione si ritiene non si ritiene particolarmente alto l'impatto sulla fauna causato da questo cantiere in tutte e tre le fasi (costruzione, esercizio, dismissione)

Area di cantiere „Principale Lotto 2' (CA23); Area di cantiere „Finestra Galleria Boscaccio – Imbocco Nord Galleria Urbana Colle' (CA24); Area di cantiere „ Imbocco Sud Galleria Boscaccio e Imbocco Sud Galleria Urbana Colle' (CA25)

Data l'ubicazione si ritiene basso l'impatto sulla fauna causato da questi cantieri in tutte e tre le fasi (costruzione, esercizio, dismissione), fatta eccezione per la porzione più a sud del cantiere „Principale Lotto 2' che va ad interessare una discreta porzione di un piccolo bosco. In quest'ultimo caso si possono prevedere possibili danni alla biocenosi presente durante tutte e tre le fasi.

Viabilità di servizio e viabilità accessoria Comune di Calenzano (Bretella VN.21)

Data l'ubicazione si ritiene basso l'impatto sulla fauna causato da questo insieme di strade, cantiere in tutte e tre le fasi (costruzione, esercizio, dismissione) fatta eccezione, analogamente a quanto indicato nel soprastante paragrafo, per i tratti che tagliano il piccolo bosco.

La mitigazione degli impatti sulla fauna

Generalità e mitigazioni in fase di costruzione

In generale, facendo riferimento agli ecosistemi più sensibili e rappresentativi dell'area di progetto, si possono indicare le seguenti regole generali che, in parte, sono realizzate grazie agli interventi di ripristino e inserimento vegetazionale (in allegato al quadro progettuale) previsti e ai quali si rimanda. Si sottolinea, nello specifico, che tutti gli interventi di mitigazione in fase di costruzione sono realizzabili, per la componente in oggetto, mediante azioni di gestione della cantierizzazione applicabili in fase di direzione lavori e di capitolato speciale d'appalto per le imprese, grazie alle indicazioni fornite di seguito e nelle tabelle di valutazione degli impatti.

Ecosistema ripariale

- limitare l'area occupata dai cantieri allo stretto necessario, in modo da non creare una zona di sconnessione molto vasta fra i due tratti a monte e a valle del corso d'acqua;
- evitare l'esecuzione di movimenti di terreno e la realizzazione di piazzali (anche temporanei) per stoccaggio di materiali o simili nell'alveo, sulle rive e su tutte le fasce a lato contraddistinte da vegetazione ripariale;
- anche quando si è in regimi di siccità e l'alveo è in secca, non utilizzare lo stesso come pista di servizio;
- anche nel caso di abbattimento di parte della vegetazione ripariale per la creazione di attraversamenti di piste non devono essere lasciati allo scoperto tratti di corso d'acqua superiori a quanto strettamente necessario al passaggio dei mezzi: l'ecosistema ripariale mantiene la sua funzionalità solo se ne vengono preservate le caratteristiche ecologiche compresi i fattori di copertura vegetazionale e, quindi, di ombreggiamento delle acque;
- nel caso di piste di servizio che debbano attraversare l'alveo sarà necessario porre nel punto di attraversamento strutture atte a permettere il libero passaggio delle acque al di sotto della strada evitando in ogni caso il contatto diretto fra ruote degli automezzi e acqua. Al momento di dismettere queste piste dopo la chiusura dei cantieri il materiale accumulato nei punti di attraversamento dovrà essere rimosso senza creare ulteriori danni all'ecosistema circostante e all'alveo. Quest'ultimo dovrà essere ripristinato in modo da connettersi in modo armonioso con i tratti a monte e a valle. Dovrà quindi essere riportato, se mancante, materiale simile all'esistente come ghiaia, ciottoli e massi avendo cura di evitare la presenza di manufatti in cemento o laterizio;
- nell'ambito della progettazione dei piazzali dei cantieri e delle aree di deposito deve essere limitato l'uso di briglie per l'impatto sulla possibilità di risalita delle specie ittiche lungo il corso d'acqua.

- al termine delle fasi di cantiere necessarie per la realizzazione dell'opera autostradale, in base ai rilievi fitosociologici eseguiti sulla vegetazione preesistente, saranno eseguiti interventi di ripristino ambientale in modo da ottenere in un tempo ragionevole di nuovo una „continuità naturale' fra il tratto del corso d'acqua posto a monte e quello posto a valle.

Ecosistema boschivo, ecosistema degli arbusteti e cespuglieti, ecosistema degli incolti e dei pascoli

- limitare il più possibile l'ampiezza delle aree a lato del tracciato in costruzione interessate dalle lavorazioni dei cantieri e/o dalle aree di manovra dei mezzi, in modo da compromettere il meno possibile le fasce vegetate presenti e di minimizzare "l'edge effect". Limitare quindi la realizzazione di piazzali, anche temporanei, per stoccaggio di materiali o simili nelle aree a lato del tracciato autostradale esistente.

Soluzioni in fase di esercizio per mitigare il rischio di collisione fra fauna selvatica e autoveicoli in transito sulle carreggiate

Di seguito si riportano le norme seguite per la mitigazione di uno degli impatti potenzialmente più significativi e cioè l'aumento della mortalità dovuta ad attraversamento della fauna.

I principi di base per tali mitigazioni sono stati:

- la realizzazione di specifiche opere atte a non permettere il libero accesso delle varie specie sulle carreggiate;
- la realizzazione di specifiche opere capaci di minimizzare il fattore „barriera ecologica', garantendo capacità di passaggio agli individui delle specie residenti su i due lati stradali.

Manufatti atti a non permettere il libero accesso sulle carreggiate

Di seguito si riporta una breve descrizione dei principali manufatti la cui realizzazione è prevista in contemporanea lungo l'infrastruttura viaria per impedire il libero accesso della fauna sulla carreggiata e ridurre in maniera considerevole il conseguente rischio per le stesse e gli automobilisti in transito.

A) Barriere antiattraversamento
È costituita da parti rigide giustapposte lungo i lati dell'infrastruttura viaria allo scopo di impedire l'ingresso degli animali sulla carreggiata (cfr. Scoccianti, 1996, 1997b, 1997b e 1998, Scoccianti et al., 1996).

Per la maggior parte delle specie afferenti alla *fauna minore* è sufficiente un'altezza di 40-50 cm rispetto al piano di campagna; l'opera è, inoltre, leggermente aggettante verso

l'esterno della strada, così da risultare di impossibile superamento anche per le specie buone arrampicatrici. Per la protezione, però, dall'ingresso sulla carreggiata anche di *Mammiferi e Uccelli*, come è il caso dell'infrastruttura autostradale in oggetto, si sono adottate barriere di maggiore altezza. Si sottolinea, per completezza, che in generale possono essere usate con successo le barriere fonoassorbenti (meglio di tipo non trasparente per evitare che gli uccelli volando vi sbattano contro non accorgendosi del vetro; nel caso di pannelli trasparenti è necessario, quanto meno, apporvi le sagome adesive nere di Uccelli da preda, in modo da limitare fortemente la possibilità di impatto) oppure recinzioni funzionali allo scopo.
Di seguito vengono descritte le caratteristiche generali di queste recinzioni a cui si è fatto riferimento nella progettazione tecnica, rimandando al progetto tecnico per una loro descrizione specifica.

B) Recinzioni
L'adeguamento della recinzione su entrambi i lati della strada ha come scopo la creazione di una barriera capace di fermare e impedire l'accesso della fauna sulle carreggiate e in alcuni punti come sotto i viadotti o in corrispondenza dei tombini, obbliga il sottopassaggio dell'infrastruttura. Questa recinzione è allo stesso tempo realizzata con caratteristiche tali da evitare di costituire una trappola, cioè evitare il rischio che gli animali vi rimangano impigliati. Per la realizzazione strutturale delle recinzioni si è tenuto conto, in particolare, quanto segue (figura 2):

- la rete è a maglie di diversa larghezza, crescenti dal basso verso l'alto, così come indicato nella legenda della figura 2;
- la rete è interrata di almeno 20 cm e deve restare fuori terra per un'altezza di 2 m (totale altezza della rete 2,20 metri);
- i fili di tensione, qualora apparsi necessari, sono sempre disposti al livello della rete stessa (in corrispondenza delle maglie e non liberi sopra le stesse, fuori sagoma). Quest'ultima caratteristica è essenziale, perché se al contrario si lasciano fili liberi al di sopra della rete è molto facile che alcune specie tentando il superamento rimangano incastrate o intrappolate tipo „laccio';
- la recinzione è posta in modo da essere continua (senza interruzioni) lungo i lati autostradali, anche in corrispondenza dei tombini dove sarà opportunamente raccordata sull'imboccatura e si „chiuderà' al di sotto dei viadotti e sopra le gallerie, collegandosi ogni volta a quella dell'altro lato autostradale. In questo modo sarà possibile alle specie passare sotto al viadotto liberamente, „guidate' dalla recinzione stessa, ma sarà completamente impedito l'accesso alla sede stradale anche da sotto il viadotto.

Come messo bene in evidenza dalla figura 2, anche in corrispondenza dei tombini la recinzione si interrompe in modo da permettere il passaggio delle specie sotto l'autostrada e in questi stessi punti essa dovrà essere disposta opportunamente e precisamente „a chiusura' contro la ripa o il muro di sottoscarpa in modo da impedire qualsiasi tentativo da parte delle specie di risalire verso le carreggiate dai punti di interruzione.

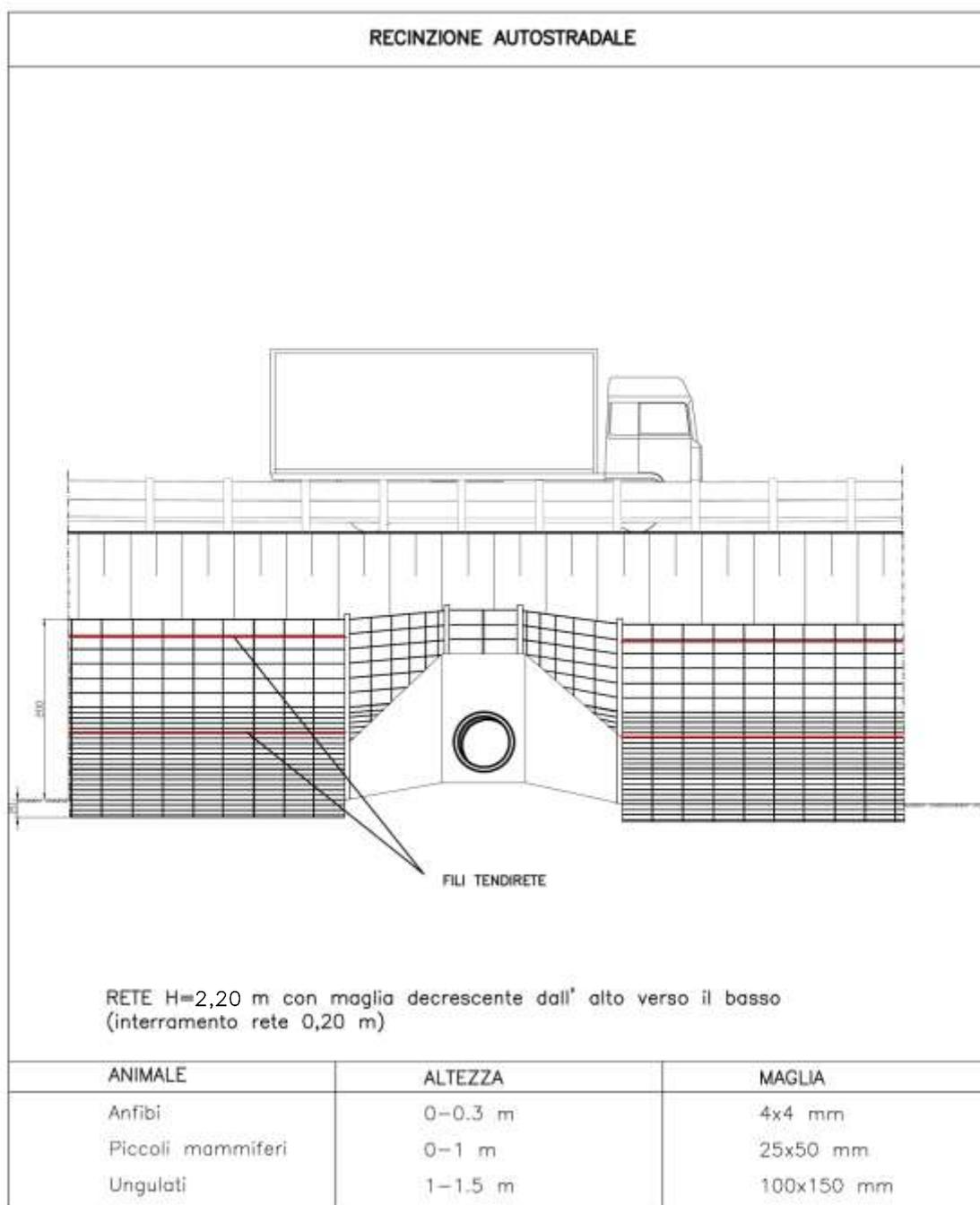



Figura 2 – Disegno tipo di recinzione adatta ad impedire l'ingresso della fauna sulla sede autostradale

Manufatti capaci di minimizzare il fattore ‚barriera ecologica'

Sottopassi
Si tratta di realizzare opere capaci di minimizzare l'effetto „barriera ecologica' determinato dalla presenza dell'infrastruttura stradale, con il fine di garantire le più ampie capacità di passaggio (e libero contatto) fra gli individui delle specie residenti su i due lati stradali.
Per sottopasso si intende la disposizione, al di sotto dei piano stradale, di un tunnel che permette agli animali di oltrepassare la strada senza correre il rischio di essere investiti.
In seguito ad esperienze di oltre venti anni, in particolar modo tedesche, si è oggi giunti alla conclusione che il diametro minimo di un sottopasso non deve essere inferiore al metro. Esperimenti con sottopassi di diametro inferiore si sono dimostrati inadatti (Podloucky com. pers.).
Determinante per il successo dell'opera è la disposizione delle barriere a formare un invito a "V", con l'imboccatura del sottopasso nell'angolo acuto.

Nel caso del tratto autostradale in oggetto, anche se le caratteristiche dell'infrastruttura, che presenta vari tratti in galleria ed in viadotto, renderanno agevole il passaggio degli animali, il faunista ha collaborato in stretto contatto con l'ingegnere idraulico dimensionando qualora possibile i tombini per il sottoattraversamento della nuova carreggiata in modo tale da renderli transitabili dalla fauna. Si sottolinea comunque che il pieno effetto di tali opere si realizza in concomitanza della disposizione delle recinzioni previste lungo entrambi i lati del tracciato, senza le quali gli animali non potranno individuare tali punti di passaggio.

Bibliografia

Aragoneses J., Martínez F. & Ruitz J. B., 1993. En las salinas de Santa Pola se producen 6000 atropellos de Vertebratos cada año. Balance de uno de los puntos negros de la red viaria española. Quercus 83: 20-21.

Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Magra, 1998. Elementi di progettazione ambientale dei lavori fluviali. Biologia Ambientale 1998(2): pp. 1-64.

Baccetti N. & Meschini E., 1986. Confronto tra distribuzioni storiche e attuali di alcune specie in base ai dati del Progetto Atlante della Toscana. Riv. Ital. Orn. 56(1-2): 67-78.

Bechi N., 1987. La vegetazione di Monte Morello. Tesi di Laurea, Università di Firenze.
Beebee T. J. C., 1975. Changes in status of the great crested newt *Triturus cristatus* in the British Isles. British Journal of Herpetology 5: 481-490.

Beebee T. J. C., 1977. Habitats of the British Amphibians (1): chalk uplands. Biological Conservation 15, 241-257.

Beebee T. J. C., 1983a. Amphibian breeding sites in Sussex 1977-1983: pond losses and changes in species abundance. British Journal of Herpetology, Vol. 6: 342-346.

Beebee T. J. C., 1997. Changes in dewpond numbers and amphibian diversity over 20 years on chalk downland in Sussex, England. Biological Conservation 81: 215-219.

Boothby, J., 1997. Ponds and other small water-bodies in North-West England: an audit. In: Boothby J. (ed.), British Pond Landscape. Action for protection and enhancement. Proceedings of the UK Conference of Pond *Life* Project, 7-9 September 1997, Chester, UK. Colin Cross Printers Ltd, Garstang, Lancashire, UK: 17-27.

Bressi N. & Stock F., 1999. Karstic ponds and pools: history, biodiversity and conservation. In: Boothby J. (ed.), Pond and Pond Landscapes of Europe. Proceedings of the International Conference of the Pond *Life* Project, 30 August - 2 September 1998, Maastricht, The Netherlands. Colin Cross Printers Ltd, Garstang, Lancashire, UK: 39-50.

BTCV (British Trust for Conservation Volunteers), 1975. Hedging. Wallingford, Oxfordshire, UK: pp. 1-120.

BTCV (British Trust for Conservation Volunteers), 1977. Dry stone walling. Wallingford, Oxfordshire, UK: pp. 1-120.

C.D.A. (Centro Divulgazione Agricola), Provincia di Bologna, 1995 – Aree di rifugio per l’agro-ecosistema. In: Il Divulgatore n. 4 maggio 1995: pp. 1-43

Capaccioli A., Betti A., Casanova P., Cellini L., De Marinis A.M. & Nigi E., 1987. Indagine conoscitiva sulle popolazioni di capriolo, daino e cinghiale nella Provincia di Firenze. Provincia di Firenze, Assessorato Caccia e Pesca, Tipolitografia Nova, Lastra a Signa (FI). pp. 1.118.

COMUNE DI FIRENZE, Assessorato all'ambiente, 1987 – Firenzecologia. Conoscere e capire l'ambiente del Comune di Firenze: pp. 1-110

COMUNE DI FIRENZE, Assessorato all'ambiente, 1990 - Atlante degli Uccelli nidificanti nel Comune di Firenze. Italia Grafiche, Firenze: pp. 1-128

Cotti G., Fossati A., Poggiati P. & Rampazzi F., 1997. Introduzione al paesaggio naturale del Canton Ticino: 3. La protezione. Museo Cantonale di Storia Naturale, dipartimento del Territorio, Bellinzona, Svizzera. Armando Dad˜ editore, Locarno, Svizzera: pp. 1-558.

Dalpiaz D., 2002. Pesci e Crostacei liberi di risalire la corrente. Il Divulgatore, Provincia di Bologna Centro Divulgazione Agricola, Anno XXV, 1-2: 73-79.

DeMaynadier P. & Hunter M. L., 1998. Effects of silvicultural edges on distribution and abundance of amphibians in Maine. Conservation Biology 12(2): 340-352.

Fahrig L., Pedlar J. H., Pope S. E., Taylor P. D. & Wegner J. F., 1995. Effect of road traffic on amphibian density. Biological Conservation 73: 177-182.

Findlay C. S. & Bourdages J., 2000. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. Conservation Biology 14(1): 86-94.

Findlay C. S. & Houlahan J., 1997. Anthropogenic correlates of species richness in southeastern Ontario wetlands. Conservation Biology 11(4): 1000-1009.

Fohmann-Ritter A., 1991 – La siepe, compagna della campagna: pp. 1-59

Forman R. T. T. & Alexander L. E., 1998. Roads and their major ecological effects. Annual Review of Ecology and Systematic 29: 207-231.

Forman R. T. T., 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. Conservation Biology 14(1): 31-35.

Fry G. L. A., 1991. Conservation in agricultural ecosystems. In: Spellerberg I., Goldsmith F. B. & Morris M. G. (eds.), The scientific management of temperate communities for conservation. The 31st Symposium of the British Ecological Society, Southampton 1989, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK: 415-443.

Fujioka M. & Lane S. J., 1997. The impact of changing irrigation practices in rice fields on frog populations of the Kanto Plain, central Japan. Ecological Research 12: 101-108.

Gerard P. W., 1995. Agricultural Practices, Farm Policy, and the Conservation of Biological Diversity. U. S. Department of the Interior, National Biological Service, Biological Science Report 4, Washington D.C., USA: pp. 1-28.

Halliday T., 1992. Amphibians and New farm Ponds. Agricultural And Food Research Council, Reprinted from AFRC News, aprile 1992: pp. 1-2.

Hanekamp G. & Stumpel A.H.P., 1984. De Geelbuikvuurpad, *Bombina variegata* (L), in Nederland met uitsterven bedreigd. Natuurhistorisch Maandblad 73 (4): 84-89.

Hartwig D., 1992. Wild-und Haustierverluste an KanŠlen. Z. Jagdwiss 38, 187-194.

Heath D. J. & Whitehead A., 1992. A survey of pond loss in Essex, south-east England. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Vol. 2, 267-273.

Herbeck L. A. & Larsen D. R., 1999. Plethodontid salamander response to selvicultural practices in Missouri Ozark forest. Conservation Biology 13(3): 623-632.

ISTITUTO NAZIONALE PER LA FAUNA SELVATICA, AA.VV., 1992. – Distribuzione delle ricatture di Uccelli inanellati ai fini della definizione delle rotte di migrazione. Doc. I.N.F.S. n. 3262/TA-59 del 24/6/1992

La Mantia T.,1997 – Il ruolo degli elementi diversificatori negli agroecosistemi mediterranei: valorizzazione e relazioni con le popolazioni di Vertebrati. Naturalista sicil., S. IV, XXI (suppl.), 1997: pp.175-211

Laan R. & Verboom B., 1990 – Effects of pool and isolation on Anphibians communities. Biological Conservation 54: 251-262.

Lack P. C., 1988. Hedge intersections and breeding bird distribution in farmland. Bird Study 35: 133-136.

Ledant J.-P., 1989. Mutations de l’agriculture européenne: perspectives pour l’environnement et les tendances de populations d’oiseaux. Aves 1989: 29-33.

LIPU ,1988 – Lista aggiornata degli uccelli della Piana Fiorentina. Delegazione di Firenze: pp. 1-18.

LIPU, 1983 – Il Padule Osmannoro e gli Stagni della Piana Fiorentina, LIPU, Firenze: pp. 1-15.

Loman J., 1988. Breeding by *Rana temporaria*; the importance of pond size and isolation. Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica 64: 113-115.

Meeus J. H. A., Wijermans M. P. & Vroom M. J., 1990. Agricultural landscapes in Europe and their transformation. Landscape and Urban Planning 18: 289-352.

Mocci Demartis A., 1987. Mortalità degli uccelli sulle strade e loro densità. Rivista Italiana di Ornitologia, Milano, 57 (3-4): 193-205.

Mostini L., 1985. Mortalitˆ di Ofidi a causa del traffico automobilistico nella Pianura Novarese. Rivista Piemontese di Storia Naturale 6: 227-230.

Mostini L., 1988. Vertebrati rinvenuti vittime del traffico automobilistico in un anno lungo un percorso predeterminato. Rivista Piemontese di Storia Naturale 9: 207-210.

Oldham R. S. & Swan M. J. S., 1991. Conservation of amphibian populations in Britain. In: Seitz A. & Loeschske V. (eds.), Species Conservation: A Population-Biological Approach. BirkhŠuser Verlag, Basel, Germany: 141-157.

Oldham R. S. & Swan M. J. S., 1995. Pond loss, the present position. In: Biggs J. & Aistrop C. (eds.), Protecting Britain's Ponds. Pond Conservation Group, Oxford, UK.

Oldham R. S. & Swan M. J. S., 1997. Pond loss and amphibians; historical perpective. In: Boothby J. (ed.), British Pond Landscape. Action for protection and enhancement. Proceedings of the UK Conference of Pond *Life* Project, 7-9 September 1997, Chester, UK. Colin Cross Printers Ltd, Garstang, Lancashire, UK: 3-16.

Petranka J. W., Eldridge M. E. & Haley K. E., 1993. Effects of timber harvesting on southern Appalachian salamanders. Conservation Biology 7(2): 363-370.

Piccini L. & Fallani F., 1998. Catasto delle Grotte della Toscana. Federazione Speleologica Toscana. Commissione Catasto. Aggiornamento al gennaio 1998. Firenze.
PMVC-CODA, 1993. Millones de animales mueren atropellados cada a–o en las carreteras espa–olas. Quercus 83: 12-19.

Pini Prato E., 2000. Le scale di risalita per la tutela del patrimonio ittico, progetto di intervento per i corsi d'acqua della Val di Sieve. Provincia di Firenze, Assessorato Agricoltura, Caccia e Pesca, e Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale. Firenze: pp. 1-95.

Pough F. H., Smith E. M., Rhodes D. H. & Collazo A., 1987. The abundance of salamanders in forest stands with different histories of disturbance. Forest Ecology and Management 20: 1-9.

Quadrelli G., 1984. Il traffico stradale come causa di morte per gli uccelli in un'area della Pianura Padana. Riv. ital. Orn., Milano, 54 (1-2): 77-80.

Raymond L. R. & Hardy L. M., 1991. Effects of a clearcut on a population of the mole salamander, *Ambystoma talpoideum*, in an adjacent unaltered forest. Journal of Herpetology 25(4): 509-512.

REGIONE TOSCANA, Giunta regionale, Dipartimento agricoltura e foreste, 1995 – L'avifauna in Toscana. Lista rossa degli Uccelli nidificanti: pp. 1-32.

Reh W. & Seitz A., 1990. The influence of land use on the genetic structure of populations of the common frog *Rana temporaria.* Biological Conservation 54: 239-249.

Sansoni G., 1993. Una nuova cultura idraulica ed ambientale. In: Nardelli R., Salemme G. & Tollini M. (a cura di), Il Magra. Analisi, tecniche e proposte per la tutela del fiume e del suo bacino idrografico. WWF Italia, Delegazione Toscana, Sezione Lunigiana. Litographic, La Spezia, Italia: pp. 1-96.

Scoccianti C. & Cigna P., 1998. L'impatto ambientale degli „orti abusivi' lungo i corsi d'acqua nella città di Firenze. In: Bologna M. A., Carpaneto G. M. & Cignini B. (eds.), Atti 1° Convegno Nazionale sulla Fauna Urbana, Roma, 12 aprile 1997. Fratelli Palombi Editori, Roma, Italia: 257-260.

Scoccianti C. & Cigna P., 1999. Le infrastrutture di origine antropica e la fauna: barriere ecologiche e isolamento in sottoaree. L'esempio della Piana Fiorentina. In: Atti del Seminario di Studi „I Biologi e l'ambiente... oltre il Duemila'. Venezia, 22-23 novembre 1996, G. N. Baldaccini & G. Sansoni (Eds.), CISBA, Reggio Emilia, Italia: 591-596.

Scoccianti C. & Cigna P., 2000. Problemi di gestione della vegetazione igrofila in una pianura fortemente antropizzata. Necessitˆ ed esempi di gestione alternativa per ridurre l'impatto sulle biocenosi. In: Bernardoni A. & Casale F. (a cura di), Atti del Convegno Zone Umide d'acqua dolce – Tecniche e strategie di gestione della vegetazione palustre, 15 maggio 1999, Ostiglia (Mantova), Italia. Quaderni Riserva Naturale Paludi di Ostiglia 1: 185-188.

Scoccianti C. & Ferri V., 2000. Fauna selvatica e infrastrutture viarie. In: Giacoma C. (ed.), Atti del 1° Congresso Societas Herpetologica Italica, 2-6 ottobre 1996, Torino, Italia. Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino: 815-821.

Scoccianti C., 1996. 'Metodi di salvaguardia delle popolazioni di Anfibi minacciate dal traffico stradale'. Biologia Ambientale n°2-3/1996: 5-11.

Scoccianti C., 1998a. Azioni di conservazione degli Anfibi in Toscana. In: Il Progetto Rospi Lombardia, iniziative di censimento, studio e salvaguardia degli Anfibi in Lombardia: consuntivo dei primi sei anni (1990-1996). Ferri V. (red.), Comunità Montana Alto Sebino e Regione Lombardia: 173-184.

Scoccianti C., 1998b. Progetti di ripristino, miglioramento ambientale e costruzione di zone umide per la conservazione di Anfibi e Rettili. Atti del Convegno interregionale, Conservazione e ripristino delle zone umide delle Marche: quali prospettive? Fano 24 ottobre 1997. Documenti e Ricerche del Laboratorio di Ecologia all'aperto "Stagni Urbani" di Fano, N.1: 35-44.

Scoccianti C., 1999. Loss of ponds in three different areas of Tuscany: conservation plans, actions and restoration projects. In: Pond and Pond landscapes of Europe: appreciation, conservation, management, Boothby J. (ed.), International Conference of

the Pond *Life* Project. Maastricht, 30 August - 2 September 1998, Colin Cross Printers Ltd, Garstang, Lancashire: 203-210.

Scoccianti C., 2000a. La progettazione di habitat per Anfibi come base per la ricostruzione di ambienti naturali su vasta scala. In: Principi e linee guida per l'ingegneria naturalistica, Volume 1: processi territoriali e criteri metodologici. Regione Toscana – Giunta Regionale, Dipartimento Politiche Territoriali e Ambientali. Centro Stampa Giunta Regionale, Firenze: 59-61.

Scoccianti C., 2000b. Study on road stretches at high risk for the migration of amphibians (*focal crossing points*) in the Provincie of Florence; proponsals and measures to minimize impact. In: Tripepi S. (ed.), Atti II Convegno della Societas Herpetologica Italica, 6-10 ottobre 1998, Praia a mare, Cosenza. Riv. Idrobiol. 38 (1/2/3) [1999]: 323-332.

Scoccianti C., 2001a. Amphibia: aspetti di ecologia della conservazione [Amphibia: Aspects of Conservation Ecology]. WWF Italia, Sezione Toscana. Editore Guido Persichino Grafica, Firenze: XIII+430 pp.

Scoccianti C., 2001b. I tombini, i pozzetti stradali, le cisterne e altre infrastrutture come causa di caduta, intrappolamento e morte della „fauna minore' nelle campagne e nella periferia delle città. L'esempio di alcune popolazioni di Anfibi in un'area della Piana Fiorentina: azioni di salvaguardia e tecniche di prevenzione. In: Ferri V. (ed.), Atti 2° Convegno Nazionale „Salvaguardia Anfibi', 15-16 maggio 1997, Morbegno (Sondrio), Italia, Rivista di Idrobiologia XL (1): 187-197.

Scoccianti C., 2001c. Considerazioni sulla presenza di *Triturus carnifex*, *Bufo viridis*, *Hyla intermedia* e *Emys orbicularis* nella Piana Fiorentina in rapporto alla frammentazione dell'habitat e agli interventi di conservazione in atto. In: Barbieri F., Bernini F. & Fasola M. (ed.), Atti 3° Congresso Nazionale *Societas Herpetologica Italica*, Pavia 14-16 settembre 2000. Pianura, Scienze e Storia dell'Ambiente Padano: 13: 125-127.

Scoccianti C., 2002. Interventi di ripristino di habitat per la conservazione di popolazioni di Anfibi in una pianura fortemente antropizzata nei pressi di Firenze: stato di avanzamento dei lavori dopo 7 anni. In: Ferri V. (ed.), Atti 3° Convegno Salvaguardia Anfibi, 23-24 giugno 2000, Lugano, Cantone Ticino, Svizzera. Cogestre Edizioni, Penne, Pescara: 167-172.

Scoccianti C., Cigna P., Dondini G. & Vergari S., 2001. Studio dell'impatto delle infrastrutture viarie sulla fauna: gli investimenti di Vertebrati durante un anno di campionamento di 5 strade in Toscana. In: Ferri V. (ed.), Atti 2° Convegno Nazionale „Salvaguardia Anfibi', 15-16 maggio 1997, Morbegno (Sondrio), Italia, Rivista di Idrobiologia XL (1): 173-186.

Scoccianti C., Emiliani D. & Lazzeri G., 2000. Metodi di salvaguardia dal rischio di investimento stradale applicati ad una popolazione di *Emys orbicularis* lungo un tratto della strada SS 309 „Romea', presso Ravenna. In: Giacoma C. (ed.), Atti del 1°

Congresso Societas Herpetologica Italica, 2-6 ottobre 1996, Torino, Italia. Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino: 809-814.

Simms C., 1969. Indications of the decline of breeding amphibians at an isolated pond in marginal land, 1954-1967. British Journal of Herpetology 4. 93-96.
Sposimo P. & Tellini G., 1995. L'avifauna in Toscana. Lista rossa degli uccelli nidificanti. regione Toscana. Firenze. pp. 1-32.

Sposimo P., 1988a. Comunità ornitiche nidificanti nei Monti della Calvana. Tesi di Laurea. Corso di scienze Naturali, Università di Firenze.

Sposimo P., 1988b. Comunità ornitiche nidificanti sui Monti della Calvana (Firenze). Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno 9: 105-129.

Tellini Florenzano G., Arcamone E., Baccetti N., Meschini E. & Sposimo P.,1997. Atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in Tocsana (1982-1992). Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno – Monografie 1. pp. 1-414.

Traverso J. M. & Alvarez A., 2000. Mortalidad de vertebrados en el canal de Las Dehesas. Quercus 167: 28-30.

Tucker G., 1997. Priorities for bird conservation in Europe: the importance of the farmed landscape. In: Pain D. J. & Pienkowski M. W. (eds.), Farming and Birds in Europe: the common agricultural policy and its implications for bird conservation, Academic Press, London: 79-116.

Vos C. C. & Chardon J. P., 1998. Effects of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the moor frog *Rana arvalis*. Journal of Applied Ecology 35: 44-56.
Waldick R., 1997. Effects of forestry practices on amphibian populations in eastern North America. In: Green D. M. (ed.), Amphibians in decline: canadian studies of a global problem. Herpetological Conservation 1: 191-205.

Werner E. E. & Glennemeier K. S., 1999. Influence of forest canopy cover on the breeding pond distribution of several amphibian species. Copeia 1999(1): 1-12.

Williams P. J., Biggs J., Barr C. J., Cummins C. P., Gillespie M. K., Rich T. C. G., Baker A., Baker J., Beesley J., Corfield A., Dobson D., Culling A. S., Fox G., Howard D. C., Luursema K., Rich M., Samson D., Scott W. A., White R. & Whitfield M., 1998. Lowland Pond Survey 1996. Pond Action, Oxford, UK: pp. 1-120.

Opere ferroviarie ed Ingegneria Naturalistica: Il caso studio della linea veloce Roma-Napoli

Raffaele Sirolli, Walter Catalani
RFI SpA

L' importanza della rinaturazione delle superfici laterali delle infrastrutture lineari è legata alla possibilità di incremento e/o mantenimento della diversità biologica e della qualità ambientale del territorio attraversato. Nel settore delle opere ferroviarie, è possibile utilizzare tecniche di Ingegneria Naturalistica in molte situazioni che prevedono interventi di ripristino o inserimento ambientale di nuove infrastrutture, anche dopo aver garantito attraverso gli studi di impatto ambientale la scelta del tracciato e delle tipologie costruttive meno dannosi per l'ambiente.
Per il caso studio della linea veloce Roma-Napoli, è stato prodotto uno Studio di Impatto Ambientale, sottoposto alla Commissione VIA del Ministero dell'Ambiente nel febbraio 1992; l'istruttoria della Commissione VIA si è conclusa positivamente con il Parere di Compatibilità n° 68 del 1992.
Tale studio ha riguardato la fase di progettazione di massima, con approfondimenti progettuali alla scala 1:5000, di una nuova infrastruttura ferroviaria con un tracciato che percorre territori mediocollinari, fondovallivi e di pianura ricadenti all'interno delle regioni Lazio e Campania, per lo più occupati da avviati centri di produzione prevalentemente agricola e industriale.
La nuova infrastruttura ha interessato un corridoio costituito, nel primo tratto di uscita da Roma, dalla ferrovia Roma - Sulmona, poi dall'autostrada Roma - L'Aquila, fino ad affiancarsi sul lato sud all'autostrada Roma - Napoli. Detto corridoio ha presentato due zone di sella orografica, quella dei Colli Albani e quella del Monte Camino (varco di Mignano Montelungo), tra catene collinari di media altitudine. Per il resto il tracciato si colloca quasi sempre in aree di fondovalle , lungo i fiumi Aniene, Sacco, Liri, Gari e Volturno, e infine di pianura in prossimità della vasta conurbazione metropolitana di Napoli.
I maggiori vincoli incontrati nell'ubicazione razionale e definitiva del tracciato sono scaturiti dalle preesistenze di natura ambientale e archeologica, di edilizia civile e rurale, di infrastrutture stradali e ferroviarie, di reti per comunicazioni e opere idrauliche, sia naturali che artificiali.
La Conferenza dei Servizi, convocata dal Ministro dei Trasporti (presenti i rappresentanti di Ministeri, delle Regioni, dei Comuni e degli Enti gestori ed erogatori di servizi), si è conclusa nel dicembre1993, e l'adesione del Ministero dell'Ambiente ha comportato la sottoscrizione di un " Accordo Procedimentale " tra le FS spa, TAV spa, il Ministero dei Trasporti e quello dell'Ambiente.
Tale accordo ha previsto l'impegno ad effettuare adeguamenti del progetto esecutivo entro un limite d'impegno economico prefissato per interventi migliorativi sotto il profilo ambientale da verificare e concordare, in parte prima dei lavori e in parte nel corso degli stessi; l'accordo ha previsto infine l'istituzione di un "Osservatorio Ambientale", a cui è stato affidato il compito di definire orientamenti e linee guida per i miglioramenti progettuali e di relazionare il Ministero dell'Ambiente sull'andamento dei lavori e sull'effettivo recepimento delle prescrizioni VIA.

Il progetto della nuova linea AV/AC Roma- Napoli ha sicuramente determinato una elevazione della sensibilità alle tematiche ambientali e un cambiamento culturale nell'approccio alla progettazione; oltre all'infrastruttura ferroviaria è stato progettato anche il contesto ambientale che l'avrebbe accolta, prevedendo interventi di ricucitura, di raccordo, di ripristino e compensazione.
L'inserimento della nuova linea ferroviaria non è stato indolore per le comunità locali interessate, che hanno interessato 2 regioni, 4 province, 59 comuni, 9 uffici Telecom, 33 uffici Enel, 50 circa tra Enti, Consorzi e Associazioni varie; la linea in fase di realizzazione ha attraversato e quindi interferito con 750 viabilità, corsi d'acqua, condutture, impianti, rendendo necessario il loro spostamento o adeguamento nell'85% dei casi.
Oltre ai dovuti "ripristini tecnici", gli interventi ambientali sono stati previsti per contenere o compensare i disturbi provocati alle comunità locali, sia quelli transitori, che si presentano ed esauriscono con la formazione dei cantieri, sia quelli permanenti, provocati dalla nuova infrastruttura per effetto della "cesura territoriale" della linea e del rumore immesso nel territorio con il passaggio dei treni.
È importante evidenziare che in base alle prescrizioni contenute nel Parere di Compatibilità Ambientale o derivanti dalla Conferenza dei Servizi e dagli impegni presi con la sottoscrizione del citato Accordo Procedimentale, la progettazione ambientale della tratta Roma - Napoli è stata strutturata in modo tale da rendere disponibile un progetto esecutivo completo di tutti quegli interventi di mitigazione atti a superare gli impatti prevedibili, ma anche di poter adeguare gli stessi interventi di mitigazione studiati nel corso della progettazione esecutiva a tutte quelle situazioni, non prevedibili, che si sono evidenziate in corso d'opera, in fase di monitoraggio ambientale.

Soluzioni tecnico–ambientali contenute nel progetto esecutivo

La morfologia del territorio, le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni, il grado di antropizzazione e la presenza di elementi ambientali di pregio hanno costituito i principali parametri di valutazione per la scelta del tracciato della linea ferroviaria.
Sistemi e soluzioni tecniche di mitigazione ambientale sono state adottate quindi per il contenimento dell'inquinamento acustico, per il migliore inserimento nel paesaggio, per la tutela degli aspetti naturalistici e storico-archeologici.
Al fine di adattare il più possibile il tracciato alla morfologia dei luoghi, pur mantenendo l'efficienza funzionale, in deroga alla specifiche tecniche del progetto AV, in alcuni tratti sono state
adottate pendenze della livelletta fino al 21 per mille.
Per ottenere il massimo della permeabilità virtuale dei viadotti, il progetto prevede campate spinte al limite dell'estremo superiore della fascia di convenienza tecnico-economica, e quindi campate di 34 m anziché 25 m.
Per i fiumi più importanti si sono adottate luci fino a 55 m.
Per quanto attiene agli imbocchi delle gallerie sono previste soluzioni di minimo impatto paesaggistico con sezione a becco di flauto, riconfigurazione morfologica della zona, idrosemina e messa a dimora di specie arbustive autoctone.
Nel caso di zone boscate si prevede il ripristino naturalistico con la ricostruzione della vegetazione tramite la messa a dimora di specie arbustive ed arboree.
Le opere di sistemazione dei corpi idrici interessati dal passaggio della linea sono eseguite con l'utilizzo di gabbioni e materassi che garantiscono la ricopertura vegetale.

In casi particolari, dove le caratteristiche ambientali esigono maggiore attenzione progettuale, è stato considerato l'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica, che prevedono la realizzazione di opere di consolidamento, la creazione di quinte e barriere, la rinaturalizzazione di ambienti compromessi effettuata con l'ausilio di idonee specie vegetali.
La trazione elettrica è realizzata con pali e tralicci semplici, meglio integrabili nel paesaggio dei più ingombranti portali.
Anche la colorazione degli stessi **è** di basso impatto (grigio- celeste).
Il terreno vegetale asportato in corrispondenza dei lavori di costruzione è stato accantonato e opportunamente conservato per il successivo riutilizzo.
Per quanto riguarda i materiali necessari alla formazione del corpo del rilevato, al fine di utilizzare il maggior volume possibile di materiali provenienti dagli scavi, sono stati utilizzati materiali con valori di modulo fino a 250kg/cmq per gli strati bassi del rilevato in rilevati di altezza superiore a 3m; in tal modo è stato ottenuto un notevole risparmio sui volumi di materiali da approvvigionare da cava e conseguentemente benefici di carattere ambientale, in relazione ai minori volumi di terreno da conferire in discariche sul territorio .
Per quanto riguarda l' ubicazione dei cantieri, essa è stata effettuata in aree già degradate o aree che non presentavano caratteristiche ambientali di pregio.
Particolare attenzione è stata rivolta all'inquinamento acustico; al riguardo, da tempo le Ferrovie hanno attivato iniziative di ricerca sia sui rotabili che sull'infrastruttura. Sono stati ottenuti risultati, soprattutto nel caso del rumore prodotto dal passaggio dei treni, che si origina con il rotolamento dei rotabili sui binari nell'interazione ruota-rotaia per velocità comprese tra i 70 e i 300 km/ h.
I risultati di tali ricerche hanno riguardato quattro aspetti tecnici:

- la sostituzione dei freni a ceppi in ghisa con freni a disco ha determinato una riduzione del rumore emesso di circa 8- 10 decibel;
- l'applicazione di schermi acustici al telaio del carrello ha consentito di ridurre di 4-5 decibel il rumore di rotolamento;
- l'adozione di carenature sulla cassa dei veicoli, in corrispondenza dei carrelli, ha comportato una riduzione di 2-3 decibel;
- l'impiego di assorbitori acustici e smorzatori viscoelastici delle vibrazioni applicati sulla vela delle ruote ha determinato riduzioni del rumore emesso, rispettivamente, di oltre 6 e 3 decibel.

Per quanto riguarda gli interventi sull'infrastruttura, essi riguardano essenzialmente l'impiego di barriere antirumore. In alcuni casi, per rispondere all'esigenza di contenere l'impatto visivo prodotto dalle barriere, le stesse sono state realizzate in materiali trasparenti ponendo in serio pericolo la fauna aviaria; per ovviare a tale conseguenza, sulle superfici trasparenti sono stati inserite immagini di falchi con lo scopo di evitare l'avvicinamento degli uccelli e scongiurare così il pericolo d'impatto sulle barriere (vedi figure 1a e1b).

Figure 1a e 1b. Tipologie di barriere antirumore (foto F.Boccalaro, 2000)

Per quanto attiene la vegetazione il progetto prevede la realizzazione di opere a verde distribuite su tutta la linea, sia in aree interne alla recinzione ferroviaria, sia in aree esterne ed in contesti territoriali particolari; gli interventi previsti hanno avuto anche l'obiettivo di consolidare ed innescare processi di ricostruzione di ecosistemi naturali o paranaturali.
Sono state effettuate indagini preliminari riguardanti la base conoscitiva floristica e fitosociologica, le caratteristiche topoclimatiche e microclimatiche, il substrato pedologico, le tecnologie tradizionali e quelle di concezione innovativa (georeti, geotessuti, biostuoie), la selezione delle specie vegetali da utilizzare con particolare riferimento a miscele di sementi di specie erbacee, arbustive ed arboree da vivaio.
Per effettuare la scelta delle specie da impiantare negli interventi di ingegneria naturalistica si è fatto riferimento alla vegetazione potenziale ed effettiva.
Per quanto riguarda la protezione della fauna, è stato effettuato un attento studio sui prevedibili corridoi di spostamento degli animali.
È stato verificato che laddove la nuova linea interessa contesti a valenza naturalistica in cui è verosimile supporre la frequentazione di specie mobili di grossa taglia, il tracciato ferroviario presenta sempre tipologie "permeabili", quali viadotti e gallerie; di contro, in prossimità dell'area boscata di "Sterparelle" , ove la permeabilità non era garantita dalla tipologia dell'infrastruttura, è stato previsto uno specifico sottopasso per la fauna.

<u>Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo</u>

Il bosco di Sterparelle.

Il tracciato (dal km 117 al km 120) attraversa marginalmente l'area boscata e nella sezione di massimo restringimento.
L'intervento ambientale prevede un raccordo con la vegetazione esistente e la ricostituzione di parte dell'area boscata in un'area interclusa dovuta alla realizzazione di un'infrastruttura necessaria al ripristino della viabilità.
Gli impianti di vegetazione riguardano Cerri e Farnetti che determinano una ricucitura con la macchia esistente e una quinta verde sul prospetto del cavalcaferrovia.
Nella zona è stato individuato un importante passaggio della fauna e un conseguente corridoio di spostamento degli animali, per cui si è reso necessario realizzare un sottopasso per lo spostamento della fauna lungo il rilevato in corrispondenza del km 116 della nuova linea (vedi figure 2 e 3).

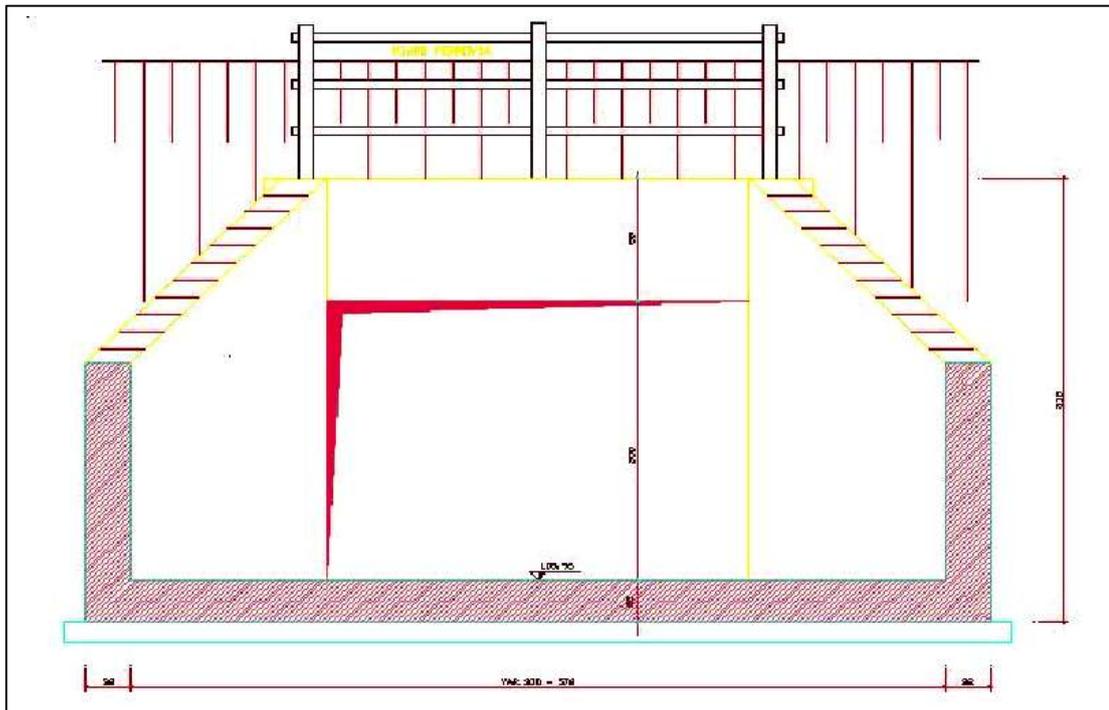



Figura 2. Linea veloce Roma-Napoli. Interventi di mitigazione ambientale: sottopasso faunistico presso Arpino

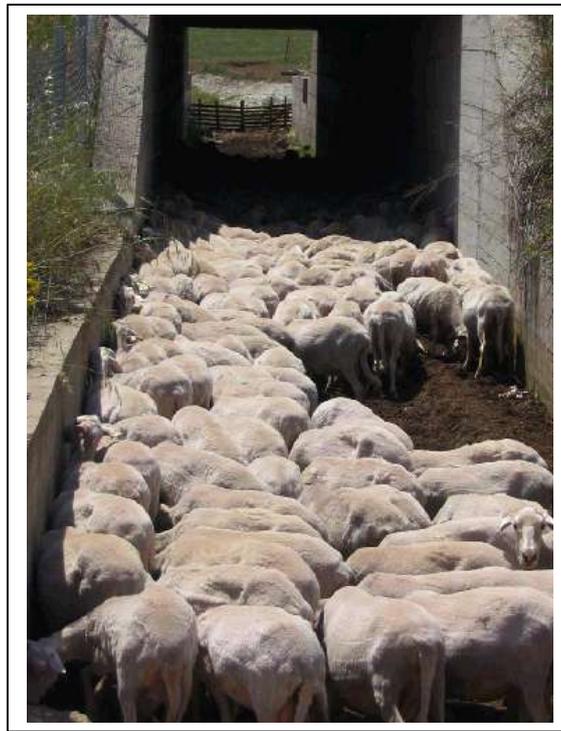



Figura 3. Linea veloce Roma-Napoli. Interventi di mitigazione ambientale: sottopasso faunistico presso Arpino (foto F.Boccalaro, 2000)

Il lago di S. Giovanni Incarico.

Dal km 108 al km 110 circa, il nuovo tratto di linea veloce si avvicina al lago di S. Giovanni Incarico, nel comune omonimo. In tale tratto, la linea si trova anche in affiancamento con l'attuale linea Roma-Napoli via Cassino. Il lago di San Giovanni Incarico, fin dai primi studi di fattibilità ambientale realizzati nel 1987, è stato identificato come biotopo di particolare interesse naturalistico per la presenza di fauna di pregio.

Il Ministero dell'Ambiente, vista l'occasione contingente, ha richiesto esplicitamente come condizione per l'approvazione del Progetto Esecutivo presentato in Conferenza dei Servizi, un intervento di compensazione ambientale riguardante l'intero comprensorio territoriale del lago, che ha previsto la necessità di ricreare il valore naturalistico presente nella zona e in qualche modo danneggiato dalle opere previste per la realizzazione della nuova linea ferroviaria, ed è stato finalizzato anche a migliorare il bilancio dell'impatto ambientale dell'opera nel suo complesso.

Il progetto di compensazione ambientale ha previsto la sistemazione di un'area di notevole estensione, circa 27 ettari, con impianto di 10.000 nuovi alberi a prevalenza di Farnetti, Cerri, Roverelle, Aceri e Frassini, e oltre 30.000 arbusti tra cui Biancospini, Prugnoli e Ciavardelli (*Sorbus torminalis*).

La scelta per la vegetazione è stata effettuata facendo riferimento alla vegetazione potenzialmente esistente nell'area, caratterizzata dalla presenza di formazioni caducifoglie a carattere mesofilo, nonché sulla base delle condizioni morfologiche e delle caratteristiche del substrato.

Inoltre è stata prevista la deviazione di tracciato della linea attuale via Cassino onde realizzare un affiancamento parallelo con la linea veloce, con conseguente allontanamento della stessa dal lago, di circa 200m.

Sono state infine previste delle modifiche alle tipologie delle opere originariamente previste in progetto, inserendo una galleria artificiale di circa 200m in sostituzione di

una trincea, onde garantire la continuità territoriale dell'area di compensazione, e l'adozione di muri di contenimento, onde ridurre lo spazio di ingombro delle trincee.

Accordo Procedimentale con il Ministero dell'Ambiente

L'Accordo Procedimentale per la tratta Roma-Napoli (sottoscritto dal Ministero dell'Ambiente, dal Ministero dei Trasporti, dalle F. S. spa e da TAV spa.) contiene norme tese ad assicurare la tutela del territorio regionale e la salvaguardia delle risorse naturalistiche, ambientali e culturali; esso ha previsto una serie di azioni correttive del progetto comprendenti, tra l'altro, la progettazione e la realizzazione di una riqualificazione naturalistica ed ambientale della Valle del Sacco e nella zona del lago di S. Giovanni Incarico, coordinata con tutti gli interventi già programmati in queste zone sia dall'Osservatorio Ambientale che da altri Enti quali ad esempio l'Autorità di Bacino.
Gli interventi d'inserimento ambientale sono stati suddivisi nelle seguenti fasi:

- adeguamento delle opere d'arte maggiori (imbocchi delle gallerie e viadotti), adozione di tecnologie costruttive atte a ridurre gli impatti in costruzione e predisposizione del progetto di monitoraggio ambientale;
- opere di rimodellamento del corpo ferroviario per adeguamento del progetto a specifiche esigenze ecologiche atte a minimizzare l'interferenza con i corpi idrici minori; specifici interventi e/o misure compensative rese necessarie dalle occupazioni temporanee in fase di formazione e gestione dei cantieri;
- accertamenti e misure idonee a definire lo stato delle componenti dell'ambiente *ante operam,* riferito ai parametri ambientali dei quali è previsto il successivo controllo in fase di monitoraggio;
- sistemazioni ambientali locali con particolare riguardo alle sistemazioni spondali ed alle opere a verde;
- interventi integrativi, oltre quelli già previsti dal progetto esecutivo, per il recupero e il restauro ambientale dei siti di cantiere e delle aree interessate da opere provvisionali;
- interventi locali da eseguire sugli elettrodotti al fine di mitigare l'impatto ambientale;
- effettuazione del monitoraggio ambientale in esercizio da protrarre, per quanto riguarda l'impatto fonico, per un periodo di 12 mesi dall'inizio del preesercizio della nuova linea veloce (preesercizio la cui durata è determinata in 6 mesi), e per 24 mesi, dall'inizio del preesercizio, per quanto riguarda le interferenze con l'ambiente naturale ed antropico.

Sulla base dei criteri e dei punti di attenzione segnalati dalle Linee Guida emesse dall'Osservatorio Ambientale, è stata effettuata una rilettura globale del progetto di tutte le opere d'arte, arrivando alla evidenziazione dei casi dove si rendeva necessario intervenire, anche se questi non erano stati esplicitamente richiamati nell'Accordo Procedimentale.
Si è passati alla redazione di Progetti Esecutivi Ambientali specifici per ognuna delle opere evidenziate, attraverso i quali e con il confronto continuo con l'Osservatorio, sono state messe a punto tutte le modifiche e le mitigazioni che rendessero più semplice l'inserimento delle strutture nell'ambiente attraversato.
Tali interventi in generale hanno previsto:

- la riconfigurazione morfologica e la riambientalizzazione delle zone interessate dagli imbocchi delle gallerie naturali o dalle gallerie artificiali;
- la rimodulazione del passo delle pile dei viadotti al fine di garantire la minore interferenza con i corpi idrici esistenti in loco;
- la modifica delle spalle dei viadotti e dove necessario la loro traslazione con relativo allungamento del viadotto;
- varianti tipologiche alle sezioni caratteristiche di rilevati e trincee con pendenze ridotte e più compatibili con i territori contermini;

adeguamento dei sottopassaggi alle esigenze del passaggio della fauna.

Definizione degli interventi di mitigazione ambientale

Le opere di mitigazione ambientale, sono comprese nelle tipologie di seguito riportate:

- ripascimento scarpate con palificate o steccati in legno, grate vive, terreno agrario, inerbimento e vegetazione arbustiva (vedi figure 4a e 4b);
- schermatura pareti verticali in c.a. con palificate in legno, terreno agrario, inerbimento e vegetazione arbustiva;
- consolidamento imbocchi di gallerie con viminate vive e mantellate in cemento;
- schermatura impianti di manutenzione e di sottostazione elettrica con barriere in legno riempite di terreno agrario, vegetazione arbustiva ed arborea;
- schermatura barriere antirumore con barriere in legno riempite di terreno agrario, vegetazione arbustiva ed arborea;
- rinverdimento tracciato con vegetazione arbustiva ed arborea;
- inerbimento materassi di pietrame con terreno vegetale e idrosemina a spessore.

Figure 4a e 4b. Linea veloce Roma-Napoli. Interventi di mitigazione ambientale presso Sgurgola (foto F.Boccalaro, 2006)

Bibliografia

Autori vari: “*Accordo Procedimentale per la compatibilità ambientale della tratta AV Roma- Napoli*” - MinA, MinT, TAV, FS, 1993

Autori vari: "*Capitolato speciale per lavori di opere a verde e ripristini ambientali*" - AIPIN, 1994

Boccalaro F.: “*Difesa del Territorio e Ingegneria Naturalistica*” – DARIO FLACCOVIO Editore, 2006

“*Progetto costruttivo degli Interventi di Riambientazione e degli Interventi di Mitigazione Ambientale*” – ITALFERR, 2004 - 2005

Misure di mitigazione per la biodiversità e per il paesaggio nel settore elettrico

Adel motawi, Chiara Pietraggi
TERNA SpA

L'inserimento di una nuova opera elettrica nel territorio può determinare sui recettori sensibili presenti varie tipologie di impatto, sia per la natura dell'intervento, sia per le attività connesse alla sua realizzazione: al fine di limitarlo sono pianificate e realizzate misure di mitigazione che interessano, a seconda del caso, la localizzazione della nuova infrastruttura e le modalità e le tecnologie utilizzate per la sua messa in opera.
Di seguito si riportano le misure di mitigazione adottate in genere nel settore elettrico, distinte in base alla tipologia del recettore.
Le opere di mitigazione per il paesaggio, in genere, vengono richieste dagli EELL interessati dall'intervento nel caso in cui la localizzazione dello stesso, comunque condivisa, interessi zone di pregio. Le mitigazioni per la biodiversità, invece, vengono applicate laddove il progetto della nuova opera (elettrodotto o stazione) si inserisca in un'area in cui le interferenze con fauna e vegetazione possono rivelarsi significative per le stesse.

Misure di mitigazione per la biodiversità

Per quanto riguarda la fauna, i recettori più sensibili dell'impatto delle linee elettriche appartengono decisamente all'avifauna, alla quale, quindi, vengono attribuite la priorità di conservazione e di intervento.
Il rischio maggiore per gli uccelli, nel caso di linee AT, è rappresentato dalla *collisione*, mentre l'elettrocuzione[8] è un fenomeno che si verifica esclusivamente in presenza di linee MT, i cui conduttori sono posti ad una distanza nettamente minore.
Le misure più semplici consistono nel posizionamento di sistemi di avvertimento visivo; i più comuni sono le spirali. In genere sono realizzate in materiale plastico, fissate solidamente con le estremità ai conduttori; costituiscono anche un sistema di avvertimento sonoro, specialmente per le specie notturne, per il rumore causato dal vento che passa attraverso le spire.
La sperimentazione di questi sistemi ha ridotto del circa 80-90% la mortalità dell'avifauna.
Analoga a quella delle spirali è la funzione delle sfere colorate in poliuretano, che vengono utilizzate laddove il clima genera spesso formazione di ghiaccio: le incrostazioni nelle spirali potrebbero, infatti, causare problemi di sovraccarico dei conduttori.
In alcuni casi vengono posizionate in cima ai sostegni sagome di uccelli predatori (astore, falco pellegrino) in fibra di vetro, con lo scopo di spaventare gli uccelli che costituiscono potenziali prede modificandone così l'altezza del volo.
Nell'ambito della mitigazione degli impatti e nell'ottica della conservazione degli uccelli, si vuole riportare l'iniziativa che TERNA ha intrapreso già da qualche anno in collaborazione con l'associazione *Ornis Italica* (Associazione italiana ricerca fauna selvatica), denominata "Nidi sui tralicci"(figure 1a e 1b).

---

[8] *Con questo termine si indica la fulminazione per contatto con gli elementi conduttori*

L'iniziativa ha previsto il posizionamento di 150 nidi artificiali, il 90% dei quali è stato spontaneamente occupato.
L'attività, oltre al posizionamento dei nidi, prevede il continuo monitoraggio del successo riproduttivo dei rapaci nella provincia di Roma, attraverso l'istallazione di *webcam* sui tralicci. Particolarmente sotto controllo, vista la rarità della loro specie, sono i nidi dei gheppi, delle cicogne, del gabbiano reale e, oggi, anche del falco pellegrino.
Oltre alla telecamera, ogni postazione è munita di un trasmettitore radio, un gruppo di alimentazione locale (con batterie ad alta capacità), di ricevitore, modem, computer e di una linea telefonica a modalità ADSL.
Accurata è anche la componente *software* per l'interfacciamento fra le telecamere e il linguaggio html, finalizzato alla trasmissione delle immagini sul portale.

Figure 1a e 1b – Iniziativa "Nidi sui tralicci": posizionamento dei nidi e schiusa delle uova.

Le uova prodotte per nido nell'ultimo anno sono comprese tra 4,83 e 5,82, con un successo d'involo del 96%.
Per quanto riguarda la vegetazione, ci si riferisce essenzialmente alla riduzione di superficie che può conseguire all'inserimento nel territorio di una nuova infrastruttura elettrica; ciò, naturalmente, solo quando il tracciato/sito interessi un'area boscata.
In genere tali situazioni si verificano soltanto in assenza di alternative ed interessano aree in cui la densità della vegetazione arborea è piuttosto bassa.
Più frequentemente la vegetazione impattata è di tipo arbustivo: in tali casi si può ricorrere, in seguito alla realizzazione dell'opera, alla piantumazione della medesima specie o di un'altra (che presenti, naturalmente, le stesse valenze ecologiche) controllandone, se necessario, lo sviluppo in altezza.

Misure di mitigazione per il paesaggio

Il primo intervento di mitigazione per il paesaggio si realizza, prima della progettazione, già nella fase attuativa della metodologia di localizzazione di una nuova infrastruttura elettrica e, quindi, nell'individuazione della fascia di fattibilità di tracciato, cercando di identificare aree in cui sia possibile minimizzare la visibilità dai punti di maggiore frequentazione ed evitare le emergenze storico-culturali.
A tal fine, è possibile condurre un'attenta analisi della morfologia del territorio e studiare un tracciato che, laddove possibile, collochi i sostegni in punti poco visibili,

sviluppandosi su versanti a mezza costa ed esposti a nord (evitando i crinali) e sfruttando quinte morfologiche naturali; le stazioni elettriche, invece, risultano meno visibili se inserite in aree depresse rispetto al territorio circostante.
Diverse sono le mitigazioni che è possibile adottare in fase di progettazione e realizzazione dell'impianto e che, nel caso di un nuovo elettrodotto, interessano principalmente la distribuzione e la tipologia dei sostegni: questi, infatti, rappresentano senza dubbio gli elementi di maggiore impatto visivo.
Per quanto riguarda la distribuzione si fa riferimento a quanto già detto in precedenza; in relazione alla tecnologia, invece, diverse sono le soluzioni che TERNA studia e propone considerando, naturalmente, le caratteristiche della linea (tensione, portata), le necessità tecniche e la morfologia del territorio.
Di seguito si riporta un breve schema delle tecnologie ad oggi utilizzate: è interessante notare come le soluzioni esteticamente migliori presentino, dal punto di vista tecnico, maggiori limitazioni.

Sostegno a traliccio "convenzionale"
E' utilizzato per singole o doppie terne[9] e può presentare un tronco piramidale o a delta rovesciato. Alla massima versatilità d'uso dal punto di vista tecnico che, quindi, ne determina l'ampia diffusione, si accompagna un discreto impatto paesaggistico, mitigato naturalmente solo dalla trasparenza propria delle strutture a traliccio.

Figure 2a e 2b – Tipologia di sostegni: tradizionale, a tronco piramidale e a delta rovesciato.

Sostegno a traliccio a mensole isolanti
Utilizzato per singole o doppie terne. Riducendo la distanza tra le fasi si può intervenire sulla disposizione dei conduttori e tentare di „compattare' la linea: ciò al fine di ridurre il campo magnetico, a parità di corrente.
Questa soluzione comporta una ridotta occupazione di spazio, in quanto necessita di campate corte e, di conseguenza, di sostegni più bassi.

[9] Per *terna* si intende l'insieme delle fasi (in forma di singolo conduttore o fasci) sostenuti dai sostegni. La differenza tra singola e doppia terna consiste nel numero di terne (linee) che il singolo sostegno è in grado di portare.

La possibilità di utilizzare sostegni a mensole isolanti, rispetto alle linee tradizionali, comporta tuttavia problemi di natura meccanica ed elettrica che non ne consentono un uso esteso, in completa sostituzione della tecnologia tradizionale; inoltre le attuali procedure di manutenzione sotto tensione delle linee elettriche non sono applicabili alle linee compatte.
Per concludere, lungo il tracciato della linea non è possibile realizzare gli stessi angoli delle linee tradizionali, a causa della ridotta distanza tra le fasi e delle diverse prestazioni meccaniche dei sostegni.
Dal punto di vista estetico, l'impatto visivo è pressoché identico a quello dei sostegni tradizionali: l'unico miglioramento è attribuibile alle dimensioni, discretamente ridotte.

Figura 3 - Tipologia di sostegni: traliccio a mensole isolanti.

Sostegno tubolare monostelo

Utilizzato per singole o doppie terne è stato inserito nel 2000 nell'Unificazione TERNA. Dal punto di vista tecnico i sostegni tubolari consentono di ridurre le distanze di rispetto con riferimento all'obiettivo di qualità dei 3 μT, a vantaggio di una minore occupazione di suolo. Per contro hanno prestazioni molto limitate a causa della riduzione della lunghezza delle campate e degli angoli massimi consentiti: il loro utilizzo, quindi, presuppone un accurato studio del territorio e del tracciato.

La forma conica costante, la minima occupazione di suolo e la riduzione dell'area di asservimento producono un miglioramento dell'impatto paesaggistico.

Inoltre, mediamente, il montaggio di un sostegno tubolare richiede un tempo inferiore rispetto al sostegno a traliccio: ciò riduce la fase di cantierizzazione con gli impatti che questa, seppur temporaneamente, può produrre sul territorio interessato. Questa tipologia rappresenta sicuramente quella più utilizzata nei casi in cui gli EELL interessati dall'intervento ne richiedano espressamente la riduzione dell'impatto visivo, a fronte, naturalmente, della fattibilità tecnica.

Figura 4a e 4b – Tipologia di sostegni: tubolare monostelo.

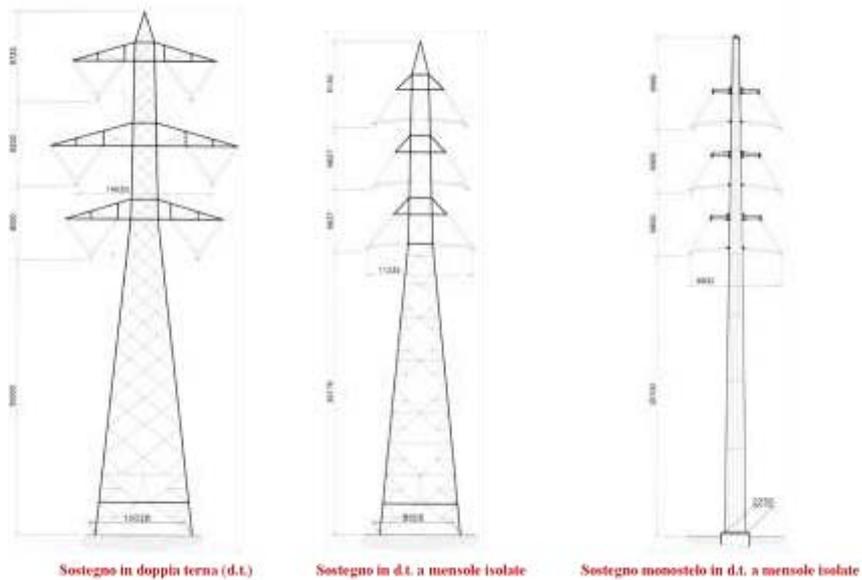



Figura 5 - Confronto dimensionale per sostegni a traliccio di una linea a 380 kV.

Sostegno tipo "Foster"

Utilizzabile per singole terne, attualmente solo per applicazioni pilota sul 380 kV, limitatamente per pali con angoli di deviazione estremamente limitati. A fronte di limitazioni tecniche rilevanti l'estetica è decisamente migliore di quella dei tralicci tradizionali.

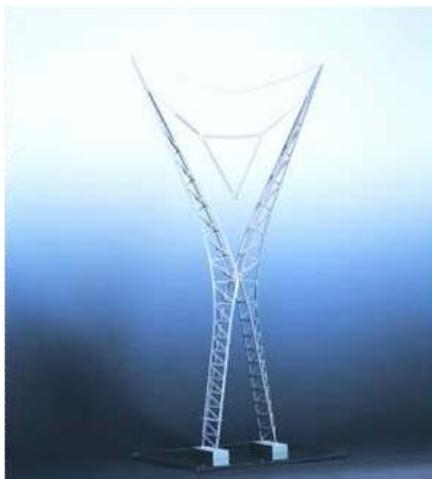



Figura 6 - Tipologia di sostegni: tipo Foster.

L'impatto visivo di ognuna delle tecnologie presentate può essere limitato ulteriormente, laddove richiesto dagli EELL coinvolti, dalla verniciatura dei sostegni con colorazioni integrate con gli sfondi (in genere sono utilizzate tonalità di verde o marrone); tale intervento di mitigazione è possibile anche per le stazioni elettriche, soprattutto per le strutture realizzate in cemento al fine di migliorarne il mascheramento. Sempre in merito alla verniciatura è innegabile l'impatto visivo della tipica colorazione bianco/rossa che la normativa[10] impone di assegnare al terzo superiore dei sostegni alti più di 61 metri: per questo motivo, specialmente in aree paesaggistiche di pregio, si adottano, nei limiti della fattibilità tecnica, soluzioni tecnologiche atte a limitare lo sviluppo in altezza dei sostegni.

Un discorso a parte merita la realizzazione dei nuovi elettrodotti in cavo interrato, piuttosto che in aereo.
Nonostante questa alternativa sia spesso indicata come prima forma di mitigazione, soprattutto da parte degli EELL, in realtà trova impiego quasi esclusivamente nei casi di attraversamenti di aree urbane e semiurbane o laddove siano presenti strumenti normativi estremamente vincolanti.

La realizzazione di linee in cavo, infatti, può comportare criticità di natura tecnica ed ambientale. Le principali, in riferimento all'interramento di un elettrodotto a 380 kV, sono elencate di seguito:

- necessità di avvalersi di un'adeguata viabilità stradale. In questo caso bisogna prevedere nelle aree urbane disservizi di assi stradali e limitazioni alla circolazione, con il conseguente disagio per l'utenza, per tutto il tempo necessario allo scavo ed alla posa dei cavi; in caso di terreno forestale o agrario è necessario effettuare gli scavi e predisporre una viabilità secondaria, con innegabile impatto sul territorio non infrastrutturato;

[10] Circolare dello Stato Maggiore dell'Aeronautica Militare che, dopo aver fornito un elenco delle strutture che possono costituire un ostacolo per la sicurezza dei voli a bassa quota, definisce le segnalazioni cromatiche e/o luminose da adottare.

- limitazioni alla capacità di trasporto che rendono necessaria l'installazione di una doppia terna di cavi (6 cavi complessivi) per ogni terna di linea aerea;
- opere di cantiere e scavi lineari. Al contrario, un elettrodotto aereo impatta il territorio in maniera puntuale;
- possibili squilibri nei flussi di potenza nel caso ci sia alternanza di linee aeree e linee in cavo, con possibili sovraccarichi nelle parti in cui sono connessi i cavi (la struttura del cavidotto è costituita in genere da più elementi uniti attraverso dei giunti);
- maggior presenza di componenti rispetto alla linea aerea, che riducono l'affidabilità dei collegamenti (giunti, terminali, stazioni di transizione, stazioni e reattanze di compensazione, ecc.);
- indisponibilità in caso di guasto stimabile in diversi mesi rispetto al tempo mediamente necessario per ripristinare in servizio un elettrodotto realizzato interamente in soluzione aerea (stimabile al massimo in due o tre settimane). Infatti, sebbene la tecnica fornisca gli strumenti per la localizzazione approssimativa di un guasto con un errore di 10 m, i tempi per la riparazione si allungano per la riapertura della trincea e l'individuazione fisica del guasto;
- rilevanti limitazioni d'uso del suolo. Il R.D. n. 1775 del 11/12/1933 prevede che nel fondo asservito al passaggio di linee elettriche non si conducano pratiche edilizie o agricole atte a mettere in pericolo il corretto funzionamento dell'impianto (arature profonde, sbancamenti, sistemi di irrigazioni sotterranee e canalizzazioni).

Inoltre, per quanto riguarda l'onere economico, per i cavi a 380 kV è stimato essere almeno 6 volte quello di una linea aerea.

Anche per le stazioni elettriche esistono interventi di mitigazione, diversi a seconda che esse siano già state realizzate o siano ancora in fase di progettazione.

Nel caso di impianti esistenti le varie soluzioni sono mirate a ridurre la visibilità e/o migliorare l'integrazione nel territorio delle strutture che le compongono. In particolare Terna, nell'ambito di uno specifico progetto denominato "Belle Stazioni", ha affidato ad uno studio di architetti l'incarico di elaborare sistemi di mascheramento per:

- la recinzione: delimita lo spazio occupato dalla struttura e ne garantisce la sicurezza impedendo l'ingresso ai non addetti. L'uso di una struttura mista "muretto più ringhiera" ne limita l'impatto visivo;
- gli edifici: contengono le apparecchiature elettroniche di controllo. L'intervento di riqualificazione consiste nel rivestimento esterno con pannelli di opportuna ed identica colorazione, che ne favoriscono l'omogeneizzazione;
- l'interno della stazione: i principali interventi consistono nella sistemazione della viabilità interna e dell'illuminazione, oltre che nella messa a dimora di cespugli e/o specie arboree (il cui sviluppo in altezza risulti compatibile con le apparecchiature a cielo aperto – stalli, trasformatori, etc.).

Figura 7

Queste soluzioni rappresentano anche i criteri per la progettazione di nuovi impianti; per questi, in più, esiste la possibilità di racchiudere tutte le apparecchiature all'interno degli edifici nelle cosiddette "soluzioni compatte in esecuzione blindata" (figura 8).

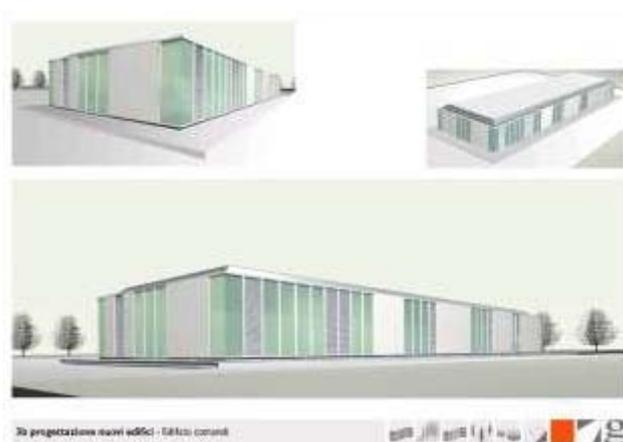



Figura 8

Gli ingombri sono minimi ed è possibile inserire le stazioni all'interno dei centri urbani, grazie anche al fatto che le linee che afferiscono all'impianto, nei tratti in ingresso ed uscita (circa 1-2 Km), vengono interrati.
Naturalmente tali impianti hanno costi molto più elevati rispetto a quelli tradizionali. Un aspetto delicato, inoltre, riguarda il materiale che permette l'isolamento dell'impianto, il gas SF6, classificato come gas serra: relativamente a questo aspetto Terna, impegnata sul fronte dell'integrazione tra esigenze energetiche e salvaguardia dell'ambiente, ha l'obiettivo, raggiungibile attraverso l'innovazione tecnologica ed il monitoraggio, di ridurre le emissioni al di sotto dell'1%.

Infrastrutture viarie e Paesaggio

Riccardo Santolini, Gioia Gibelli***
** Università di Urbino "Carlo Bo" – Istituto di Ecologia e Biologia Ambientale-Laboratorio di Rilievo ed Analisi del Territorio*
*** Società Italiana di Ecologia del Paesaggio*

Premessa

La realizzazione di una nuova strada non è mai un'operazione indolore per l'integrità del sistema territoriale in cui si inserisce e pertanto è necessaria una valutazione preliminare mirata a verificare in particolare tre aspetti:
• l'effettiva necessità di attuazione dell'opera;
• la possibilità di utilizzare mezzi di trasporto alternativi alle auto (ipotesi questa poco utilizzata, ma che può risolvere brillantemente alcune situazioni);
• la riorganizzazione della viabilità preesistente.
Una volta valutata l'effettiva necessità di predisporre il nuovo assetto viario con la realizzazione dell'infrastruttura, si tratta di analizzare come devono essere le strade in modo da rispondere al meglio a vari tipi di esigenze:
• funzionali;
• Igieniche (salute pubblica);
• ecologiche;
• estetico/paesaggistiche;
Tralasciare anche uno solo di questi requisiti, significa effettuare una valutazione parziale che porterà alla risoluzione di parte del problema determinando l'instaurarsi di problematiche nuove che spesso mascherano i "benefici" ottenuti.
La grande variabilità dei paesaggi italiani, determina una relativa variabilità nelle tipologie d'opera attraverso una serie di alternative tipo, da scegliere in relazione alle peculiarità del sito e dal sistema ambientale a cui esso appartiene. Molto semplicemente si potrebbe dire che se in luoghi diversi (per caratteristiche geomorfologiche, idrologiche, di uso del suolo, ecosistemiche, ecc.) si applica sempre la medesima soluzione, sicuramente da qualche parte si è sbagliato. Di conseguenza, proprio per esplicitare le considerazioni appena espresse, risulta importante inserire alcune riflessioni sul paesaggio inteso come sistema ecologico, sulle interazioni con la fauna delle infrastrutture lineari e sulle problematiche principali che il progettista di strade incontra, spostandosi da un ambito territoriale ad un altro.

Il paesaggio[11]

La *Convenzione Europea del Paesaggio*[12], ha allargato il concetto di paesaggio che non è più solo un bene culturale ed estetico, ma "*componente essenziale del contesto di vita delle popolazioni, espressione della diversità del loro comune patrimonio culturale e naturale e fondamento della loro identità*[13]". Non si tratta più di un settore specialistico che interessa le discipline storiche e l'estetica, ma di un "oggetto" multiforme,

[11] Tratto da Gibelli 2007.
[12] La Convenzione è stata recepita dall'Italia e tramutata nella LN n. 9/2006
[13] Le parti in corsivo del presente testo sono stralci del testo della Convenzione o della relazione esplicativa.

complesso che non solo esiste, ma avvolge le nostre persone e interagisce fortemente con i nostri comportamenti, le nostre attività, le nostre potenzialità, la salute psico-fisica, gli umori, ecc. Ciò evidenzia l'importante legame tra il paesaggio e la qualità della vita dell'uomo: "*il paesaggio è in ogni luogo un elemento importante della qualità della vita delle popolazioni: nelle aree urbane e nelle campagne, nei territori degradati, come in quelli di grande qualità, nelle zone considerate eccezionali, come in quelle della vita quotidiana*". La Convenzione sottolinea dunque anche l'importanza e la dignità dei paesaggi ordinari, e di quelli degradati, oltre a quelli eccezionali, poiché sono tutti determinanti per la qualità dell'ambito di vita delle popolazioni. Inoltre, è bene precisare che, spesso, sono proprio i paesaggi "normali", i quali interessano la maggior parte del territorio, o quelli "degradati" che necessitano di maggior cura rispetto a quelli eccezionali. Fatta questa premessa, l'approccio che qui si propone ha un obiettivo prioritario che si sintetizza nella seguente considerazione: poiché i paesaggi antropizzati (soprattutto di pianura) sono sottoposti da tempo ad un processo di degrado e di incremento della vulnerabilità, in cui le capacità proprie di autorigenerazione e di resilienza[14] del sistema ambientale sono ridotte al minimo, ogni nuova trasformazione non può limitarsi ad essere mitigata e, al più, compensata, perchè ciò non determina un'inversione di tendenza. In questo contesto, invece, si vuole inserire come presupposto il fatto che ogni nuovo intervento dovrebbe porsi come occasione per migliorare lo stato attuale e non come un'ulteriore fonte di degrado, anche se minimizzato attraverso mitigazioni e compensazioni. Ogni nuova trasformazione dovrebbe essere pensata in modo tale che il sistema ambientale, alla fine dell'operazione non perda funzioni ecologiche e quindi mantenga i servizi ambientali della situazione di partenza. Ciò può essere possibile attraverso un'accorta progettazione delle opere previste e l'utilizzo delle risorse economiche, che queste comportano, per la realizzazione di interventi mirati a risolvere problemi e criticità, magari pregressi, del sistema territoriale.
Il paesaggio così inteso è un concetto chiave per il superamento degli approcci settoriali alla pianificazione e consente di agevolare il superamento delle conflittualità esistenti tra sistemi antropici e naturali e di individuare metodi e strumenti interpretativi efficaci per la valutazione degli effetti delle trasformazioni antropiche. Dalla definizione data derivano alcuni concetti che informano il metodo di studio del paesaggio.

• *Il concetto sistemico*: in particolare il paesaggio è inteso come sistema biologico, come tale dotato di una struttura e una dinamica: l'evoluzione storica condiziona fortemente i processi attuali;
• *l'ecosistema* (sia naturale che antropico, comprendendo le componenti inventive tipiche dell'uomo) come unità di base dello studio del paesaggio;
• l'importanza delle *interazioni* sia in senso spaziale che temporale tra ecosistemi sia naturali che antropici (che possono essere altamente penalizzate dalla frammentazione);
• la *distribuzione spaziale* influisce sul tipo di organizzazione degli ecosistemi e sui processi, i quali sono legati alla caratterizzazione di ambiti paesaggistici e alla possibilità di individuarne i confini. La frammentazione costituisce infine un aspetto chiave della distribuzione spaziale rispetto agli effetti delle infrastrutture viarie.

Siamo pertanto di fronte a due importanti novità.

---

[14] Per resilienza si intende la capacità di un sistema a rispondere alle perturbazioni e agli agenti destabilizzanti

- L'oggetto paesaggio cambia profondamente valore ponendosi come tema centrale legato alle probabilità di sopravvivenza dell'uomo e, in generale, degli esseri viventi sulla terra.
- Il paesaggio è un risultato di processi e non un prodotto che si può costruire attraverso un progetto chiuso.

Il paesaggio si forma con le azioni, dirette e indirette, che avvengono nel territorio e si evolve. Un bel paesaggio è il risultato di una serie di strategie d azioni "buone" compiute da amministratori, popolazioni ecc. in combinazione con il clima ed i processi naturali.
Ad esempio, il messaggio che riceviamo da un "bel paesaggio" è quello di un aspetto sano, vitale, probabilmente, il risultato di un'evoluzione positiva; al contrario, il paesaggio che appare frammentato, connotato da alto contrasto, difficile da vivere, percepire e attraversare da parte di uomini e animali, è testimone di un processo di degrado in atto che leggiamo, se siamo debitamente informati. In qualche modo il paesaggio può considerarsi la "cartina di tornasole" che evidenzia la bontà o meno delle molteplici attività che si svolgono nel territorio e la "salute" delle componenti che lo costituiscono.
La valutazione del paesaggio parte, quindi, dall'analisi delle componenti strutturali oggettive del paesaggio, per poi verificare come, tali strutture, possano essere percepite, con modalità soggettive, dagli abitanti.
L'effetto di frammentazione che un elemento lineare come una strada produce in un mosaico ambientale, varia in relazione alle caratteristiche della matrice, che può assumere nel tempo un differente grado di energia sussidiaria o di autosostenibilità in relazione all'intensità d'uso, alla specializzazione e ai disturbi al contorno. Tuttavia ci sembra opportuno aggiungere il fatto che le modalità con cui vengono effettuati gli interventi siano la chiave della compatibilità degli stessi. Compatibilità che andrebbe valutata rispetto all'organizzazione strutturale e funzionale del sistema ambientale e alla capacità di incorporazione dello stesso, che dipende dai tipi, dalla quantità, dalle modalità distributive degli elementi estranei alle funzioni principali degli ambiti interessati.

Le strade nel paesaggio

La consistenza e il tipo di tessuto in cui è inserita una rete stradale, è di fondamentale importanza per comprendere e valutarne i reali impatti. Inoltre, il confronto tra la dinamica evolutiva storica dell'assetto delle tessere e quella potenziale futura risulta un indicatore dello stato e delle capacità di sviluppo del paesaggio.
E' chiaro che una tessera può presentare infiniti aspetti legati alla sua forma, alla sua configurazione, alla sua estensione, ai suoi confini, ai suoi margini ecc., e che può avere molta importanza di per sé, ma assumerne ancora di più se essa è posta in relazione con la presenza, con il numero, con la forma delle altre tessere del mosaico ambientale in cui è inserita e con i rapporti di continuità intrattenuti con esse e con i corridoi.
Infatti, la potenzialità di sviluppare questa caratteristica si misura attraverso la connettività del paesaggio, la quale è fortemente correlata con la presenza di corridoi, che connettono, appunto, il territorio che lo attraversano.
I corridoi naturali o semi-naturali, quali i corridoi fluviali, i torrenti, le siepi, le fasce boscate, e gli altri elementi lineari di uso antropico, quali le strade, le linee elettriche, i frangivento, sono elementi spaziali che, a seconda della loro ampiezza, svolgono molteplici funzioni ed hanno ruoli diversi. Così come, ad esempio, le strade possono

impedire il movimento della fauna, altrettanto i fiumi a volte possono rappresentare una barriera in questo senso, ma sono un ostacolo che si è evoluto con la/e specie e quindi rappresentano un elemento naturale proprio dell'habitat a cui le specie stesse si sono adattate in modo funzionale. Inoltre i fiumi hanno un ruolo di primo piano come habitat per tutta la fauna acquatica e come fornitori di elevati benefici ecologici: dalla ritenzione dell'acqua al controllo dell'erosione, dalla ricchezza delle specie nelle aree alluvionali all'influsso sull'equilibrio termico e le funzioni vitali ad esso connesse.
La struttura del mosaico che deriva dai rapporti spaziali e funzionali che intercorrono tra le tessere e i corridoi influisce molto sulla capacità del territorio di reagire alle trasformazioni negative, quindi al grado della sua resistenza (*capacità di opporsi alle trasformazioni*) ed alla resilienza (*capacità del sistema di tornare allo stato iniziale*). Questo modello, costituito da matrice/macchie/corridoi, viene proposto come riferimento ottimale per la strutturazione anche di una Rete Ecologica in cui il grado di frammentazione del mosaico influisce sulla presenza dei margini e degli ecotoni i quali hanno effetti molto importanti sulla struttura e sulle funzioni del mosaico ambientale stesso.
Gli effetti delle strade nel paesaggio si verificano pertanto a scale spazio temporali diverse. In particolare il modello matrice/macchie/corridoi costituisce un riferimento valido per le valutazioni degli effetti a scala vasta e su tempi lunghi, mentre a scala locale tale modello deve essere supportato da verifiche puntuali relative ad impatti specifici e puntuali
Nella tabella seguente (Gibelli 2007) sono riportati gli impatti più comuni generati dalle infrastrutture della mobilità suddivisi per impatti a scala vasta e a scala locale comprendenti impatti diretti ed indiretti.
In particolare quelli indiretti a scala vasta incidono in modo preponderante sulle dinamiche del paesaggio. Inoltre, dal momento che l'eterogeneità e la variabilità naturale dell'ambiente sono certamente le componenti maggiori ed evolutivamente preponderanti nel determinismo della distribuzione degli organismi, delle loro interazioni e dei loro adattamenti (Blondel 1986), le trasformazioni indotte sulla configurazione del mosaico ambientale, causano una forte riduzione degli habitat favorevoli a molte specie, l'ingresso di elementi di disturbo e di banalizzazione del sistema e la riduzione della permeabilità agli scambi biologici, impedendo le interazioni intra ed interspecifiche (Forman 2003).
La costruzione di una strada quindi, interrompe la normale continuità di un ecotopo nonché le aree minime vitali delle diverse specie. Esse quindi sono costrette ad adattarsi ai nuovi confini modificando la distribuzione degli spostamenti ed il flusso genico all'interno della popolazione soprattutto se di specie terricole (Santolini et al. 1997).

IMPATTI DIRETTI	IMPATTI INDIRETTI
Scala vasta	
Frammentazione degli habitat naturali e agricoli	Perdita/alterazione di biodiversità floro-faunistica, con riduzione delle specie autoctone sensibili alla frammentazione e aumento delle alloctone ubiquiste (fauna) ed invasive (flora) anche alloctone Perdita di produttività agricola
Interruzione di corridoi ecologici tra macchie distanti	Riduzione della capacità portante delle macchie connesse precedentemente
Alterazione dinamiche del paesaggio	Crescita di nuovi insediamenti sparsi, aumento del consumo di combustibili fossili legato all'urbanizzazione diffusa, inquinamento atmosferico e idrico, aumento dei disturbi sugli ecosistemi dovuto ai nuovi insediamenti Divisione di ambiti paesistici e progressiva trasformazione radicale di almeno una delle due parti separate
Aumento del volume globale di traffico	Aumento delle emissioni in atmosfera, dell'inquinamento delle acque, rumore, disturbi agli ambiti agrari Aumento dello stress
Aumento incidentalità per la fauna	Disturbo alle migrazioni degli animali terrestri e ai volatili
Invasione di ampie fasce di territorio per l'impianto del cantiere con impiego di notevoli superfici di suolo	Possibile non accurato ripristino dei luoghi alla fine dei lavori
Alterazione degli habitat	Aumento del traffico, della rumorosità e delle polveri prodotte dal cantiere Creazione di viabilità di accesso al cantiere
Aumento dell'illuminazione notturna negli ambienti naturali attraversati	Disturbi agli ecosistemi e alla fauna Nuovi elementi (artificiali) del paesaggio notturno

IMPATTI DIRETTI	IMPATTI INDIRETTI
Scala locale	
Aumento degli insediamenti lineari lungo le strade, con intensificazione dell'alterazione della struttura delle macchie e dell'effetto barriera	Riduzione della velocità di transito dovuta ai numerosi accessi che si vengono a creare, progressiva riduzione di efficienza e frequente richiesta di duplicazione della strada
Alterazione della struttura delle macchie paesistiche: modifica degli habitat (+ margine, - nucleo centrale, - area minima vitale)	Impoverimento ecosistemico, allontanamento di specie sensibili, aumento delle ubiquiste e delle invasive
Effetto barriera: riduzione della possibilità di movimento della microfauna e macrofauna sensibile, e dello scambio energetico tra gli ecosistemi attraversati Aumento della mortalità degli animali in fase di attraversamento e, conseguentemente, degli incidenti stradali	Diminuzione di diversità, estinzioni locali, aumento di vegetazione ruderale di scarpata con specie alloctone (effetto margine negativo), limitazione degli scambi genetici, riduzione della disponibilità delle risorse ambientali per le specie selvatiche
Riduzione dei tempi di corrivazione: opere ingegneristiche per il consolidamento delle scarpate e la regimazione delle acque Variazione delle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua di scolo; aumento del carico inquinante (metalli pesanti, idrocarburi, erbicidi, sale, ecc.)	Effetti estetici, inibizione e alterazione dei processi ecosistemici nelle aree interessate Effetti sui corpi d'acqua recettori, sulla vegetazione limitrofa, sulla biocenosi acquatica ed, in particolare, sulla microfauna acquatica ed ittiofauna
Estetico percettivi legati alla riconoscibilità e identità dei luoghi, alle condizioni d'uso e alle relazioni territoriali delle aree attraversate	Perdita di valore paesaggistico, interruzione della continuità morfologica dei siti attraversati
Inquinamento atmosferico da gas di scarico, rumore	Inquinamento dei prodotti agricoli con riduzione della qualità delle colture agrarie
Artificializzazione delle sponde	Impedimento alla formazione di biocenosi diversificate e non banali
Invasione di ampie fasce di territorio per l'impianto del cantiere con impiego di notevoli superfici di suolo	Possibile non accurato ripristino dei luoghi alla fine dei lavori
Alterazione degli habitat	Aumento del traffico, della rumorosità e delle polveri prodotte dal cantiere Creazione di viabilità di accesso al cantiere
Variazione del valore dei terreni prossimi alla realizzazione dell'opera	Accelerazione delle dinamiche, consumo di suolo

Caratteristiche generali delle misure di mitigazione

Evidentemente l'individuazione delle misure più opportune parallelamente alla progettazione della strada è uno degli aspetti essenziali della pianificazione e progettazione dell'opera. Possono essere applicate diverse misure che permettono una minore interazione, ma l'aspetto fondamentale è l'assistenza di uno specialista nel momento di individuazione del tracciato da parte del progettista. L'obiettivo è quello di localizzare il tracciato in modo che interferisca il meno possibile con le aree minime vitali delle specie e delle loro principali linee di spostamento. Per la fauna minore alcune misure tecniche possono essere sufficienti per limitarne l'invasività e la

destrutturazione del sistema funzionale alle specie. Questi concetti si possono esplicitare nelle sviluppo dei seguenti obiettivi:
a. limitare il pericolo di collisioni e quindi aumentare la sicurezza dell'utente;
b. la protezione delle specie animali a rischio;
c. limitare le alterazioni del paesaggio e quindi agli habitat delle specie, causate dalla cattiva definizione del tracciato della strada e dalle dinamiche territoriali indotte.
Di conseguenza, lo scopo principale delle misure protettive sono rivolte sia ad assicurare la permanenza almeno degli habitat minimi vitali, che la sicurezza degli spostamenti della fauna attraverso barriere, inviti e da sotto e/o sovrappassi.

“Misure naturali" alla mitigazione di impatti diretti. Sono quelle azioni che dipendono strettamente dalla specie target, dalle caratteristiche della strada e dalle caratteristiche e disponibilità di habitat lungo la strada.
• Modificare la copertura della vegetazione lungo la strada in modo da prevenire proliferazioni di specie che possono attrarre predatori;
• piantare specie con aromi repellenti per la fauna e non appetibili;
• artificializzare la vegetazione lungo le strade in modo da assicurarsi che non vengano utilizzate come siti alimentari o di riposo in particolare cespugli di bacche per gli Uccelli;
• evitare di creare condizioni locali favorevoli ed attrattive per la fauna;
• creare “habitat attrattori” in modo da favorire una direzione non pericolosa degli spostamenti;
• in relazione alle condizioni al contorno, la creazione di filari alti e densi favorisce un aumento di quota nella traiettoria di volo tendente ad attraversare la strada;
• evitare lo scarico delle acque nel reticolo idrografico minore, favorendo zone limitate di raccolta e fitodepurazione delle acque.

Misure tecniche. Lo scopo dell'approccio più tecnico è prevenire che le specie possano avere accesso alla strada e che possano superare l'ostacolo attraverso elementi strutturali che facilitino ed invitino il passaggio in quel punto.
Sovrappassi, sottopassi, aree ad invito, particolari ricoperture di tratti di strada a bassissima intensità di traffico sono gli elementi tecnici funzionali per limitare il danno della frammentazione degli habitat. Tali misure devono essere attentamente valutate in via propedeutica al progetto in relazione alle caratteristiche strutturali e funzionali del paesaggio e della fauna a rischio.

Misure di compensazione. L'obiettivo di queste azioni è quello di compensare la sottrazione di habitat funzionale ed eventualmente di influire funzionalmente sulla struttura dell'ecomosaico in modo da modificare alcuni percorsi faunistici con la creazione di habitat attrattori e da prevenire alcuni impatti indiretti.
Evidentemente l'individuazione delle misure più opportune parallelamente alla progettazione della strada è uno degli aspetti essenziali della pianificazione e progettazione dell'opera. Possono essere applicate diverse misure che permettono una minore interazione, ma l'aspetto fondamentale è l'assistenza di uno specialista nel momento di individuazione del tracciato da parte del progettista. L'obiettivo è quello di evitare una reale attraversamento delle principali linee di spostamento della fauna. Per la fauna minore alcune misure tecniche possono essere sufficienti per limitarne l'invasività e la destrutturazione del sistema funzionale alle specie. Questi concetti si

possono esplicitare nei seguenti punti che soprattutto per gli ultimi due, esigono un impegno puntuale essenziale poi per valutare e indirizzare meglio l'efficacia delle misure applicate.

• Cooperazione tra specialisti del traffico e della fauna selvatica: la gestione dell'opera.
• Esecuzione dell'opera ed assistenza al lavoro
• Modalità di controllo
• Monitoraggio

Conclusioni

L'identificazione dei tracciati stradali deve essere vincolata ai caratteri naturali ed a quelli estetici e culturali di un paesaggio. Generalmente, per quanto possibile, il rispetto dei caratteri originari si accompagna ad una minima trasformazione del territorio, ciò significa la scelta di un tracciato che abbia minime necessità di sbancamenti e riporti, e segua il più possibile la morfologia del territorio attraversato dalla strada.
Una nuova strada (anche sterrata) costituisce un collegamento tra elementi distanti tra loro, ma determina anche una frattura nel paesaggio attraversato. L'individuazione del tracciato deve tener conto di questi aspetti, soprattutto nelle zone di valore naturalistico, che dovrebbero essere oggetto di studi idonei propedeutici alla scelta delle alternative progettuali. Gli studi devono mettere in luce la presenza delle specie più penalizzate dalla frammentazione indotta da una infrastruttura lineare e proporre mitigazioni nei luoghi opportuni, al fine di eliminare il più possibile l'inevitabile effetto barriera, l'ingresso di elementi di disturbo e di banalizzazione del sistema paesistico.

Bibliografia

Blondel J., 1986. Biogéographie évolutive. Masson, Paris.

Forman, R.T.T, 2003, *Road ecology,* Island Press, Washington

Gibelli G., 2007. Repertorio delle opere di mitigazione e compensazione delle infrastrutture per il PTCP della Provincia di Milano. Provincia di Milano (documento inedito).

Santolini R., Sauli G., Malcevschi S. e Perco F., 1997. The relationschip between infrastructure and wildlife: problems, possible project solutions and finished works in Italy. In: Habitat Fragmentation & Infrastructure, pp 202-212, Ministry of Trasport, Public Works and Water Management, Delft, The Netherlands.

Certe caratteristiche della riproduzione rendono alcune specie particolarmente vulnerabili ai danni derivati dalla frammentazione

Ettore Pacini, Beti Piotto***
** Dipartimento di Scienze Ambientali – Università di Siena*
*** APAT - Dipartimento Difesa della Natura*

Premessa

Come è noto, i processi di frammentazione colpiscono gli habitat, con tutte le loro componenti (Andren 1994), in vario modo:

- attraverso una estrema riduzione che porta alla sparizione dell'habitat;
- per una riduzione delle dimensioni dell'habitat o dei suoi frammenti;
- per la diminuzione della connettività dei rimanenti frammenti.

Quando si parla di effetti negativi della frammentazione sugli organismi viventi vengono spesso alla mente immagini di animali investiti dagli automobili mentre tentano l'attraversamento di una strada. Colpiscono la sensibilità quelle specie particolarmente vulnerabili perché non sono veloci nello spostamento, come le chiocciole e gli anfibi, o perché reagiscono alle luci immobilizzandosi ed esponendosi a morte sicura, come i ricci.
Le piante, erbacee, arbustive o arboree, per quanto "prigioniere" del suolo, a cui sono ancorate e di cui traggono nutrimento, non sono generalmente percepite come vittime dei processi che portano al loro isolamento, semplicemente perché il danno a loro provocato non è evidente nell'immediato. Va comunque tenuto ben presente che popolamenti isolati vanno generalmente verso il deperimento e la vulnerabilità a conseguenza del calo di diversità genetica.

La "sofferenza" provocata al regno vegetale dalla mancanza di connettività del territorio non si vede se non a lunga scadenza, però è indubbio che la frammentazione non colpisce tutte le specie nella stessa maniera e che il concetto di frammentazione per le piante può essere rappresentato da forme diverse dalla forma classica (non-connettività del verde). Infatti, mentre alcune piante sono in grado di superare tramite il polline e/o i semi barriere e difficoltà, altre specie sono "condannate" da caratteristiche riproduttive non propense alla conquista e l'affermazione nel territorio. Inoltre la presenza di polline e/o semi facilmente deperibili, diversi tipi di autoincompatibilità che impediscono l'autofecondazione, ad esempio, sono condizionamenti fortemente negativi.

I vegetali sono di loro natura immobili, salvo eccezioni, come alcune alghe unicellulari o coloniali; però alcune loro parti riproduttive come i gameti, le spore di vario tipo, il polline e semi sono dispersi con varie modalità, che dipendono spesso dall'ambiente dove vivono, ma anche dal processo evolutivo di cui sono la risultante. La dispersione permette sia la colonizzazione di nuovi ambienti, sia l'allontanamento dai "genitori" e dai "fratelli", fatto positivo perché diminuisce la competizione.

Nel mondo vegetale esistono due tipi di riproduzione: quella sessuata, che produce individui diversi attraverso la ricomposizione del corredo genetico tramite la meiosi, e quella vegetativa, detta anche asessuata o agamica, dove gli individui prodotti sono

geneticamente identici all'individuo di partenza. I prodotti della riproduzione sessuata hanno tanto più successo quanto più lontano riescono a crescere da chi li ha generati; viceversa, quelli della riproduzione vegetativa generalmente non sono dispersi e crescono vicino alla pianta madre. La riproduzione vegetativa permette la sopravvivenza e la permanenza su un dato territorio anche quando la riproduzione sessuata fallisce. Purtuttavia, non apportando variabilità, la riproduzione agamica non assicura la sopravvivenza nei tempi lunghi, né tantomeno l'evoluzione adattativa in casi di cambiamenti profondi dell'ambiente.

Tipi di dispersione e loro limiti

La dispersione, a seconda dei meccanismi con cui avviene, può essere: autonoma, attiva, passiva o indotta.

Si ha la **dispersione autonoma** quando i gameti hanno i flagelli, come nella maggior parte delle alghe, dei muschi e delle felci. La sostanza che determina il movimento dei flagelli è come un pieno di benzina per una macchina, questo tipo di dispersione è quindi condizionata dalla disponibilità di "carburante".

E' **attiva** quando la struttura riproduttiva è fornita di apparati che facilitano la dispersione, come il "paracadute" del soffione o le appendici delle spore sensibili alle variazioni di umidità che, ad esempio, fanno possibile l'allontanamento delle spore degli equiseti. La distanza raggiunta dalla struttura dipende dall'altezza da cui inizia la dispersione e dalla velocità della corrente d'aria.

E' **passiva** quando le strutture disperse sono di piccole dimensioni e non hanno nessuna caratteristica che serva per facilitare la dispersione. Vengono disperse solo perché sono minute e prodotte in grande quantità tale da assicurare che qualcuna trovi il posto adatto dove potersi sviluppare. Anche in questo caso la distanza raggiunta dipende dall'altezza da cui inizia la dispersione e dalla velocità della corrente d'aria.

La dispersione è **indotta** quando la struttura riproduttiva, più comunemente il polline (ovvero il contenitore dei gameti maschili) o il seme (e cioè il contenitore dell'embrione: un nuovo individuo), ha elementi utili per attirare gli animali che poi la trasportano. Gli animali sono attratti dalla struttura riproduttiva perché ricevono una ricompensa, raccogliendola contribuiscono ad allontanarla, in vario modo, dalla pianta madre.

Nei fiori le **ricompense** sono il **polline** e il **nettare**. Quest'ultimo è un liquido zuccherino prodotto da particolari organi detti nettari (Pacini, Nicholson 2007). Anche i semi rappresentano una ricompensa per i disperditori, alcuni però sfuggono, o vengono persi, e possono propagare la specie. Alcuni tipi di semi hanno alla loro superficie una appendice detta elaiosoma che non è coinvolta nella germinazione ma che contiene dei lipidi che attraggono le formiche che raccolgono il seme. Questi insetti mangiano l'elaiosoma, ma nel frattempo disperdono il seme (Lisci et al. 1996) allontanandolo, nei casi più favorevoli anche oltre i cento metri. Anche la polpa dei frutti carnosi è una ricompensa per gli uccelli e i mammiferi che poi disperdono i semi (Pijl Van Der 1982). Il nettare rappresenta perciò un esempio di ricompensa specializzata per la dispersione del polline mentre gli elaiosomi lo sono per alcuni semi.

Indipendentemente dal tipo di dispersione, la struttura riproduttiva, per avere successo, deve essere ancora vitale e capace di svilupparsi non appena trova un sito favorevole. Teoricamente il polline ed alcuni semi possono passare anche attraverso gli strati più

alti dell'atmosfera e essere dispersi anche a centinaia di chilometri di distanza ma non è certo che siano ancora vitali all'arrivo.

Le strutture riproduttive delle piante terrestri si sono modificate nel "passaggio" dai muschi alle piante superiori. Nei muschi e nelle felci i gameti maschili sono ciliati, hanno un intenso metabolismo ma una vita breve; inoltre sono dispersi solo quando c'è acqua sufficiente a consentire l'allontanamento.

A cominciare dalle felci (il gruppo più grande delle *Pteridophyta)* le spore sono disperse con un basso contenuto di acqua e con un metabolismo rallentato; lo stesso si ha nel polline e nel seme delle Gimno e Angiosperme. Il metabolismo riprenderà a pieno con la reidratazione che precede la germinazione delle spore, del polline e del seme. La perdita di acqua e il rallentamento del metabolismo servono a diminuire i danni che ci possono essere durante la dispersione, la disidratazione consente quindi di vivere più a lungo e andare più lontano.

I semi sono definiti **ortodossi** se mantengono a lungo le loro caratteristiche qualitative quando, ai fini della conservazione, sono portati a un contenuto idrico del 6-10%. In questi semi vi è presente un meccanismo che porta spontaneamente alla disidratazione in seguito alla maturazione. In natura, perciò, la conservazione avviene, seppure esposta alle variabili condizioni ambientali (Falleri, Piotto 2001).

I semi sono considerati **recalcitranti** (oggi sono anche detti "sensibili alla disidratazione") quando perdono la vitalità se il contenuto di acqua delle cellule scende al di sotto del 30-40%.

Per la dispersione e la sopravvivenza gli ortodossi sono avvantaggiati perché generalmente piccoli, leggeri e muniti di meccanismi per facilitare la dispersione (ali, papi, ecc.). Possono anche esibire dormienza: straordinaria strategia di sopravvivenza che consente di "rimandare" la germinazione al momento più opportuno evitando, inoltre, la germinazione simultanea dei semi delle piante che vivono in un ambiente. I semi recalcitranti sono grossi, deperibili in tempi piuttosto brevi (da pochi giorni a pochi mesi) e spesso hanno bisogno di vettori animali (oggi non sempre frequenti) per la disseminazione.

La condizione estrema del seme recalcitrante è il seme cosiddetto "viviparo", ovvero che inizia la germinazione prima ancora del distacco dalla pianta madre; un esempio classico sono i semi delle mangrovie.

Un seme altamente deperibile complica enormemente la programmazione di impianti e di "restauri ambientali" e rappresenta un limite difficile da superare nella gestione delle risorse genetiche. E' questo il caso delle mangrovie, specie caratteristica di ecosistemi costieri tanto importanti quanto vulnerabili. Non sorprende perciò che a distanza di anni dalla guerra del Vietnam i mangrovieti fortemente frammentati del sud est asiatico non siano stati ancora opportunamente ripristinati per portarli alla funzione biologica fondamentale: la Natura li creò a difesa delle coste e come "filtro" benefico delle barriere coralline. Nemmeno coglie all'improvviso il fatto che imponenti rimboschimenti in aree tropicali e subtropicali, dove sono frequenti e spontanee specie

con semi recalcitrati, sono stati eseguiti con specie aventi semi ortodossi (si pensi alle vastissime piantagioni monospecifiche di eucalipto), molto più facili da gestire in vivaio. Ma questa procedura di semplificazione della diversità di specie impiegate, di banalizzazione del paesaggio, è stata applicata anche alle regioni mediterranee (Piotto 2004).

Recentemente E.Pacini con il suo gruppo di ricerca ha trovato che anche i **pollini** possono essere **ortodossi** o **recalcitranti** (Nepi et al. 2001, Franchi et al. 2002). A parità di modalità di dispersione, se il seme e il polline di una pianta sono recalcitranti, le distanze che questi raggiungono saranno inferiori rispetto alle specie con polline e seme ortodossi, per non parlare del calo in efficienza riproduttiva.

Alcuni effetti della frammentazione sulle piante

La frammentazione del territorio influisce notevolmente sulla dispersione delle strutture riproduttive delle piante terrestri. Questo è particolarmente valido per quegli organismi che sono di piccole dimensioni e le cui strutture riproduttive sono incospicue. Inoltre, se queste sono disperse passivamente, non potranno andare molto lontano e verranno fortemente condizionate dagli ostacoli posti dall'uomo. La condizione di recalcitranza nel polline o nel seme ostacola ulteriormente la diffusione nel territorio.

Nel caso di organismi come muschi e felci la frammentazione del territorio ostacola la dispersione dei gameti maschili che sono già limitati dal fatto di aver bisogno di un velo liquido in cui muoversi.

Se il polline è disperso dalle api, queste difficilmente attraverseranno una strada o una ferrovia. Altri insetti sociali impollinatori hanno un raggio di azione ancora più ridotto.

La dimensione della popolazione di una determinata specie ed il tipo di frammentazione (o disturbo in generale) sono fattori chiave per il processo e l'efficienza riproduttive, in particolare quando sono necessari insetti impollinatori. E' stato dimostrato (Coates et al. 2007) che a una diminuzione della popolazione ed a un aumento del disturbo (frammentazione) segue generalmente l'intensificarsi dell'autogamia con riduzione della diversità genetica.

Tutte le querce e i castagni hanno dei semi recalcitranti che, dato il peso, una volta caduti, non si allontanano molto dalla pianta madre, a meno che non si trovino su un pendio. Quindi, se il polline (ortodosso) di queste specie può superare gli ostacoli trasportato dal vento (ad esempio sopra una nuova autostrada o ferrovia), i semi, invece, non si allontanano molto a meno che ci sia una forte presenza di animali disperditori (ma questa circostanza appare improbabile in aree molto frammentate).

Diversa, perché più fortunata davanti alla frammentazione, è la situazione di specie con semi alati, leggerissimi (fino a 11 milioni in un Kg di seme) e di buona conservabilità come nelle betulle. In questo caso, date le caratteristiche del seme, la disseminazione è anemofila. Sorge spontaneo il paragone con le querce dove in *Quercus macrolepis* ci sono solo una settantina di semi per Kg e la dispersione è fortemente vincolata dagli animali disperditori (Piotto B., Di Noi A. 2001).

La frammentazione del territorio ostacola, inoltre, quelle piante di dimensioni ridotte e con una impollinazione di corta portata, la situazione è aggravata se questo tipo di piante ha il polline recalcitrante come è il caso di alcune graminacee.

Esempi che ci toccano le querce mediterranee e i ginepri

Le querce mediterranee

Le querce, in particolare quelle mediterranee, appaiono molto vulnerabili per una serie di elementi, qui sotto elencati, che possono diventare in taluni casi una minaccia per la gestione delle risorse genetiche:

- sono spontanee in aree profondamente disturbate dal fattore antropico come ad esempio le aree costiere che hanno subito pesanti frammentazioni in particolare dopo gli anni '50;
- hanno tutte dei semi pesanti e deperibili (recalcitranti);
- hanno bisogno di vettori animali (piccoli mammiferi, uccelli) per la dispersione dei semi, ma i piccoli mammiferi sono ostacolati anche loro dalla frammentazione.

Il riscaldamento del pianeta determina già da ora gli spostamenti delle specie da un ambiente non più adatto ad uno più consono e sicuro. Questi spostamenti saranno effettuati dal polline e dal seme, ma le querce saranno svantaggiate in questa migrazione per i loro semi recalcitranti.
La connettività, i corridoi ecologici, se opportunamente e tempestivamente disegnati, rappresentano perciò le strade privilegiate sulle quali transiteranno i flussi genetici. Nel caso delle querce mediterranee, saranno inoltre strategicamente importanti tutti gli accorgimenti che favoriscano lo spostamento dei vettori animali che attuano la disseminazione (sottopassaggi, protezione della ghiandaia ed altri animali disseminatori, ecc).

Figura 1a

Figura 1b

I semi di olmo , nella Figura 1a in fase di germinazione, sono leggerissimi e alati e perciò facilmente trasportati dal vento e, una volta caduti, anche dai corsi d'acqua. I semi del genere *Quercus*, nella Figura 1b ghiande di farnia, sono grossi, pesanti, deperibili e hanno bisogno di animali disperditori per il loro spostamento. Le specie quercine, perciò, saranno svantaggiate in territori frammentati. (Foto Beti Piotto)

I ginepri

In *Juniperus communis*, in *J. oxycedrus* subsp *oxycedrus* nonché in *J. oxycedrus* subsp *macrocarpa* è stata dimostrata (Mugnaini et al 2004; Pacini E., Piotto B. 2004) la aspecificità nei meccanismi di impollinazione. Il cono femminile (assimilabile ad un *fiore*) non sempre è in grado di riconoscere il polline della propria specie e perciò le occasioni di fecondazione con produzione di seme diminuiscono. Può anche accadere che la goccia micropilare (elemento dove si deposita il polline nel cono femminile) "confonda" il particolato aerodisperso e lo ritenga polline. Tale condizione di aspecificità rappresenta un punto di elevata vulnerabilità soprattutto se le popolazioni si trovano vicino a sorgenti antropiche di articolato abiotico aerodisperso, inoltre può spiegare la bassa produzione di seme di ginepro in determinate condizioni.
Quanto detto, che sembra valere anche per altre gimnosperme il cipresso ed il tasso, configura, in modo non classico, una forma di frammentazione in cui l'alta concentrazione di polveri "isola" le piante limitando il normale afflusso del proprio polline.

Figura 2a

Figura 2b

Coni maschili di *J. communis* (Figura 2a) al momento dell'impollinazione (fine marzo). Le sacche polliniche a sono pronte alla dispersione del polline mentre i coni femminili maturi (Figura 2b) di *J. communis* mostrano la goccia micropilare dove si deposita il polline. I meccanismi dell'impollinazione dei ginepri sono poco specifici e da ciò ne deriva una scarsa produzione di seme. (Foto Massimo Nepi)

Conclusioni

Se è chiaro che la frammentazione del territorio ostacola, in generale, l'efficienza riproduttiva delle piante, è altrettanto vero che alcune specie sono più penalizzate di altre.
In molti casi i meccanismi della riproduzione rappresentano l'anello debole della sopravvivenza di una specie vegetale, soprattutto in assenza di connettività del verde. Serve perciò individuare gli aspetti più vulnerabili de una specie, i cosiddetti "colli di bottiglia", in primis nelle specie minacciate, per poter creare strategie che rispondano efficacemente agli obiettivi di conservazione.
Ogni atto di ricostruzione della continuità del verde dovrebbe tener conto delle varie forme, molte note altre no, in cui la frammentazione colpisce le diverse specie.

Bibliografia

Andren H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. Oikos 71: 355-366.

Coates D., Sampson J, Yates C. 2007. Plant mating systems and assessing population persistence in fragmented landscapes. Australian Journal of Botany 55 (3): 239-249.

Falleri E., Piotto B. 2001. La conservazione dei semi. In: (Piotto B., Di Noi A. eds) Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea. ANPA, 89-97.

Franchi G.G., Nepi M., Pacini E. 2002. Partially hydrated pollen: taxonomic distribution, ecological and evolutionary significance. Plant Syst. Evol. 234: 211-227.

Lisci M., Bianchini M., Pacini E. 1996. Structure and function of the elaiosome in some angiosperm species. Flora: 191: 131-141.

Mugnaini S., Nepi M.,E. Pacini, Piotto B. 2005. Poor seeding in Junipers may depend upon non-specific pollination mechanisms. In (Procházková, Gosling e Sutherland eds.) Proceedings of the ISTA Forest Tree and Shrub Seed Committee Workshop. Jíloviště-Strnady: Forestry and Game Management Research Institute, 97 s. ISBN 80-86461-50-5 [CD-ROM] http://www.vulhm.cz/docs/Sbornik%20ISTA.pdf http://www.vulhm.cz/?did=333&lang=cz

Nepi M., Franchi G.G., Pacini E. 2001. Pollen hydration status at dispersal: cytophysiological features and strategies. Protoplasma 216: 171-180.

Pacini E., Piotto B. (eds). I ginepri come specie forestali pioniere: efficienza riproduttiva e vulnerabilità. APAT Rapporti 40/2004, APAT, 2004, 104 pp. http://www.apat.gov.it/site/_contentfiles/00137600/137621_rapporti%2040-2004%20i%20ginepri.pdf

Pacini E., Nicholson S. 2007. Introduzione. In Nectary and Nectar. S. Nicholson, M. Nepi, E. Pacini eds. Pp. 1-23. Springer, Dordrecht.

Pijl Van Der L. 1982. principle of dispersal in higher plants. Springer Verlag, New York.

Piotto B. 2004. Pourquoi la restauration des forets mediterraneennes est-elle souvent faite avec un nombre restreint d'especes? Bulletin de l'AIFM n 12, 2004. http://www.aifm.org/page/doc/Bull12.pdf (francese) e http://www.aifm.org/page/doc/Bull12GB.pdf (inglese).

Piotto B., Di Noi A. (eds) 2001. Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea. Manuale ANPA, 212 pp.

http://www.apat.gov.it/site/_contentfiles/00135600/135622_propagazione_per_seme.pdf

Tabella 1. Caratteristiche di alcune strutture riproduttive di vegetali terrestri in condizioni ambientali naturali

tipo di organismo	tipi di strutture disperse			
	gameti maschili	*spore*	*polline*	*seme*
***Bryophyta* (muschi)**	Sono autonomi per il movimento, si dirigono verso i gameti femminili perché attratti da un feromone, la dispersione è legata alla presenza di un velo liquido, la loro vita media non sorpassa un giorno, spostamenti da pochi cm a pochi m	Vengono disperse passivamente dalle correnti d'aria, ma data la loro ridotta dimensione hanno vita breve (pochi giorni). Per la ridotta dimensione dell'organismo che le produce raramente si spostano per più di sorpassano i dieci metri		
***Pteridophyta* (felci)**	Sono autonomi per il movimento, si dirigono verso i gameti femminili perché attratti da un feromone, la dispersione è legata alla presenza di un velo liquido, la loro vita media non sorpassa un giorno; spostamenti da pochi cm a pochi m	Vengono disperse passivamente con pochissime eccezioni, hanno normalmente una vita lunga (anche qualche mese) con alcune eccezioni in cui durano poche ore. Dato che la pianta che le produce può anche superare il metro si disperdono tra il metro e pochissime centinaia di metri		

Gymnospermae			E' quasi sempre disperso dalle correnti d'aria e può vivere da pochi giorni ad alcune settimane. Può cadere sulla parte femminile della stessa pianta o essere disperso anche per chilometri, non è certo però che sia vitale all'arrivo.	Può essere disperso in maniera attiva (semi alati) o passiva. Le distanze raggiunte oscillano tra pochi centimetri e poche centinaia di metri.
Angiospermae			Può essere disperso dalle correnti d'aria, nel tal caso la distanza è proporzionale alle dimensioni della pianta: da pochi centimetri a pochi metri. Se disperso dalle api, che sono i migliori impollinatori, può talvolta superare anche i cento metri. In natura la vita media va da pochissime ore e pochissime settimane	La dispersione può essere: attiva (spostamenti da alcuni metri a poche centinaia); passiva (da pochi centimetri ad alcuni chilometri), indotta (da pochi centimetri ad alcuni chilometri).

Arpa Piemonte: Manuale per la mitigazione degli impatti delle infrastrutture di trasporto sulla fauna

Elena Fila-Mauro, Cecilia Frasca, Enrico Rivella, Davide Vietti
ARPA Piemonte

In questi anni la Direzione Territorio rurale della Regione Piemonte e il Coordinamento VIA/VAS dell'ARPA Piemonte, partecipando alle procedure di valutazione di impatto ambientale delle infrastrutture lineari di trasporto (strade e ferrovie), hanno constatato che i progetti presentati dimostravano, nel migliore dei casi, una scarsa attenzione al problema degli attraversamenti per la fauna selvatica, quando addirittura non ignoravano del tutto l'argomento.
Le cause delle carenze nella progettazione sono da ricercare nella ridotta sensibilità a queste problematiche da parte degli Enti proponenti le opere, nella scarsità di bibliografia disponibile sull'argomento e nella mancanza di indicazioni e di norme specifiche da parte della Pubblica Amministrazione.
Già a partire dal 2003, la Direzione Territorio rurale e l'ARPA Piemonte hanno iniziato un'attività di supporto ai proponenti delle opere (ARES Piemonte, ANAS, società di gestione delle reti ferroviarie) per la progettazione di passaggi per la fauna.
Nel 2005 la collaborazione tra l'Osservatorio regionale sulla fauna selvatica, il Settore Infrastrutture rurali e Territorio della Direzione Territorio rurale ed il Coordinamento VIA/VAS dell'ARPA ha portato alla realizzazione del manuale "Fauna selvatica ed infrastrutture lineari

Il manuale "Fauna selvatica ed infrastrutture lineari. Indicazioni per la progettazione di misure di mitigazione degli impatti delle infrastrutture lineari di trasporto sulla fauna selvatica" (Regione Piemonte – Torino, 2005) è scaricabile all'indirizzo web: www.regione.piemonte.it/agri/osserv_faun nella sezione Pubblicazioni

Indicazioni per la progettazione di misure di mitigazione degli impatti delle infrastrutture lineari di trasporto sulla fauna selvatica" (Regione Piemonte – Torino, 2005), con l'intento di cercare di colmare le evidenti lacune sull'argomento, fornendo un utile strumento contenente specifiche indicazioni sulle diverse tipologie di interventi da mettere in atto per consentire alla fauna selvatica l'attraversamento delle strade in sicurezza.

Il manuale si compone essenzialmente di tre parti.
La prima parte, introduttiva, oltre a fornire alcuni dati statistici sul rapporto rete viaria e fauna selvatica, evidenzia l'importanza di una corretta progettazione delle infrastrutture lineari che tenga conto della conservazione della biodiversità attraverso la conoscenza dei "corridoi ecologici" presenti sul territorio e la loro preservazione.
La parte centrale esamina, in funzione dei diversi tipi di fauna presenti e delle diverse interazioni con la rete stradale, i sistemi e le tipologie costruttive adatte a minimizzare l'impatto delle opere sulla fauna.
I sistemi descritti sono stati selezionati attraverso una minuziosa ricerca bibliografica internazionale, verificandoli anche sul campo visitando infrastrutture realizzate con tali accorgimenti.

Sono stati infine trattati due casi concreti per evidenziare come procedere nella fase di studio preliminare, nella successiva progettazione e nella realizzazione dell'opera, nonché nelle manutenzioni successive.

Linee Guida: Qualità dell'ambiente, Tutela dell'avifauna, Affidabilità del servizio elettrico

Riccardo Santolini
Università di Urbino "Carlo Bo" – Istituto di Ecologia e Biologia Ambientale-Laboratorio di Rilievo ed Analisi del Territorio

Le linee guida scaturiscono da una progetto *Life* denominato "*Miglioramento degli habitat di uccelli e bonifica di impianti elettrici*" iniziato nel luglio 2001. Esso costituisce il primo ed il più ampio intervento in Italia che, in maniera complessiva ed esaustiva, elimina la pericolosità delle linee elettriche in un'area di grande importanza naturalistica come quella del Parco del Delta del Po in Emilia-Romagna. Questo territorio è attraversato da circa 340 chilometri di linee elettriche ad alta (AT) e media tensione (MT), di cui il 35% sono dislocate in zone critiche coincidenti con gli habitat di nidificazione, svernamento, sosta ecc. delle diverse specie di Uccelli presenti, di cui 50 di importanza comunitaria e 27 di queste nidificanti nelle zone umide del Delta.
Sono stati sostituiti circa 120 Km di cavi elettrici presenti in zone di rischio ecologico e sono state adottate misure che, pur garantendo un'assoluta efficienza del sistema distributivo dell'energia elettrica alle attività umane presenti sul territorio, tutelano le esigenze dell'avifauna del Delta. Un progetto caratterizzato quindi, dalla forte sostenibilità sia socio-economica che naturalistica le cui azioni sul campo hanno comportato un investimento complessivo di 5.638.000 euro. La realizzazione di un progetto di tale portata è stata possibile grazie alla partnership, anch'essa primo caso in Italia, tra soggetti pubblici come Unione Europea e Parco del Delta del Po dell'Emilia Romagna ed un'azienda privata come Enel distribuzione S.p.A., che ha sostenuto in proprio il 60% dei costi complessivi.
Il fascicolo si compone delle seguenti parti:

1. **Il processo di frammentazione:** La scomparsa di habitat e la frammentazione del paesaggio sono state riconosciute in tutto il mondo come una questione cruciale in rapporto alla conservazione della diversità biologica in cui l'alterazione delle dinamiche di popolazione dovute ad esempio, all'impatto diretto sulla fauna giocano un ruolo chiave.
2. **I termini del problema**: vengono riportati i dati di casi specifici che hanno definito dimensione del problema dell'impatto degli elettrodotti nei confronti delle popolazioni d'Uccelli. In particolare la frammentazione dello spazio aereo in Italia raggiunge una media di 2,6 Km/km^2 e aumenta il suo rischio potenziale di elettrocuzione e di collisione in condizioni particolari sia territoriali che climatiche.
3. **La normativa:** descrizione sintetica delle normative in atto esclusivamente di tipo comunitario
4. **Fattori influenti la mortalità**: i biotopi in cui gli Uccelli esplicano maggiormente le loro attività biologiche giornaliere (alimentazione, sosta, riposo, riproduzione) e quindi assistiamo ad una concentrazione di più individui della stessa specie e/o di diverse specie. Inoltre il rischio di collisione è in relazione alle modalità di volo ed ai fattori che intervengono nel modificare tali modalità e di cui i più significativi sono le caratteristiche del volo delle diverse

specie, le attività fenologiche, le condizioni metereologiche e la morfologia del paesaggio.

5. **Le specie di Uccelli minacciate**: elenco delle specie a diverso livello di rischio e loro livello di conservazione.
6. **I principi delle linee guida** sono rivolti a definire quindi uno specifico documento in cui viene delineato un metodo di comportamento sulla base di criteri ormai oggettivi individuando azioni utili a ridurre ed eliminare i rischi per l'avifauna, non solo è necessario ma risulta essenziale per migliorare gli aspetti legati alla frammentazione ecologica del paesaggio. Sebbene le azioni possano essere differenti in relazione alle caratteristiche dell'habitat, alle condizioni ambientali ed alle disponibilità economiche, l'obiettivo delle Linee Guida è quello sia di ridurre o eliminare l'incidenza di queste azioni sulle popolazioni di Uccelli sia di innescare un processo culturale funzionale alla salvaguardia ambientale ed alla compatibilità delle azioni antropiche; in sostanza un processo vero di sviluppo sostenibile forte.
7. **Le azioni per un Piano di Valutazione del rischio:** le linee guida declinano gli argomenti strutturanti un Piano per la Valutazione e Riduzione del Rischio da adottare in tutte le aree protette,nelle zone SIC e ZPS nonché lungo le fasce di migrazione e comunque ogni qualvolta se ne ravvisi la necessità per migliorare la qualità ambientale del nostro Paesaggio.

Questo documento deve offrire elementi di organizzazione e specifiche utilità per delineare un programma operativo che possa porre in condizione sia i gestori che gli Enti nonché i ricercatori, di cooperare affinché sia possibile ridurre le interazioni degli Uccelli con le linee elettriche.
Inoltre lo strumento delle Linee Guida deve essere utile ad incrementare la consapevolezza del problema anche finalizzato ad una migliore qualità del paesaggio ed affidabilità del servizio.

Copertina del fascicolo riguardante le *Linee Guida: Qualità dell'ambiente, Tutela dell'avifauna, Affidabilità del servizio elettrico* (Santolini 2007).
E' possibile richiederlo all'indirizzo di posta elettronica: cts@parcodeltapo.it

PARTE SECONDA

Realizzazione attraverso tecnologia GIS, di strumenti per lo studio e l'individuazione delle aree di collegamento ecologico funzionale al fine della differenziazione del gradiente di permeabilità biologica in funzione degli interventi di infrastrutturazione lineare

Dipartimento Uomo e Territorio

Sezione Pianificazione del Territorio agricolo e forestale

Università degli Studi di Perugia

Gruppo di Lavoro DUT Agr

Prof. Ing. Vincenzo Mennella
Dott. Ing. Maria Elena Menconi
Dott. Moreno Neri
Dott. Agr. Marco Vizzari

1 La Pianificazione del territorio tra tutela ambientale e sviluppo infrastrutturale

Premessa

Lo sviluppo sostenibile è ormai obiettivo di importanza globale, condiviso sia dalla comunità scientifica che dalle istituzioni politico-amministrative ad ogni livello. La Comunità Europea pone tra gli enunciati fondamentali della sua politica la *"promozione di uno sviluppo equilibrato e sostenibile delle attività economiche, l'incremento del livello di protezione dell'ambiente e il miglioramento di quest'ultimo"* (Trattato di Amsterdam 1997).
La corretta pianificazione del territorio diventa così strumento indispensabile di raccordo tra le esigenze di crescita economica e la tutela delle risorse ambientali e paesaggistiche. Per questo motivo tra i criteri di inserimento delle opere nel contesto spaziale, che fino a pochi decenni fa, obbedivano a logiche di carattere strettamente economico-produttivo, si sono ormai affermati indirizzi di gestione legati alla conservazione e al recupero del paesaggio nonché al mantenimento della continuità ecosistemica.
Tematiche rispetto alle quali la politica delle infrastrutture si pone in maniera centrale. Le infrastrutture, soprattutto di comunicazione, svolgono infatti un ruolo imprescindibile di supporto alla crescita economica e sociale di un paese, ma, la realizzazione di tali opere può comportare notevoli ripercussioni sull'ambiente e sul paesaggio in generale. E' importante quindi prevedere all'interno del percorso progettuale di un tracciato viario l'uso di strumenti che possano contribuire a minimizzare l'impatto dell'opera sul contesto paesaggistico in cui si colloca e a limitare la frammentazione degli ecosistemi, la disgregazione degli habitat e la conseguente riduzione della diversità biologica. Tali fenomeni risultano strettamente connessi alla realizzazione di infrastrutture viarie che possono determinare vere e proprie cesure nei confronti degli ecosistemi, la cui continuità ambientale può conservarsi unicamente in presenza di viadotti o tratti in galleria che interrompono longitudinalmente l'occlusione infrastrutturale (Romano B., 1999).

Sviluppo sostenibile e territorio

Lo sviluppo sostenibile costituisce una strategia di ampio respiro che si articola su livelli diversi da quello economico, a quello sociale e ambientale. Aggiungere il termine sostenibilità al concetto di sviluppo significa mettere in atto un impegno concreto e una serie di azioni rivolti a rendere compatibili la crescita economica con il rispetto, la valorizzazione del capitale umano, sociale e ambientale.
Il dibattito sul tema della sostenibilità ambientale dello sviluppo nasce dalla presa di coscienza dell'impossibilità di proseguire con gli attuali ritmi di crescita della ricchezza dei paesi industrializzati in termini puramente monetari e dai numerosi limiti della politica economica tradizionale. Infatti da un lato il crescente depauperamento delle risorse, l'innalzamento dei livelli di inquinamento e i numerosi disastri ambientali degli ultimi anni, hanno dimostrato concretamente come la capacità di carico della terra sia limitata e sempre maggiormente compromessa e, dall'altro lato, si è constatato come la

politica economica tradizionale non sia in grado di assicurare un miglioramento complessivo della qualità della vita delle popolazioni.
Purtroppo in questi ultimi quindici anni, che vanno dal primo Earth Summit ad oggi, i principali vertici internazionali che hanno trattato le tematiche della sostenibilità in modo approfondito hanno prodotto documenti e risultati formali che, per la maggior parte, non si sono trasformati in azioni concrete (tab.1).
La sfida, che andrebbe raccolta a livello internazionale al fine di innescare processi territoriali di cambiamento e conservazione capaci di concretizzare gli ideali e i principi di sostenibilità, consiste nel riuscire ad integrare le dimensioni economica, sociale e ambientale dello sviluppo.

Per dimensione economica s'intende un approccio teso ad assicurare:
- l'efficienza, cioè il raggiungimento dei risultati attesi con il minimo dispendio di risorse;
- la stabilità, cioè la tendenza della produzione a rimanere costante in un dato insieme di condizioni ambientali, economiche e di gestione (Conway 1987);
- l'equità, cioè la giusta distribuzione del benessere intragenerazionale e intergenerazionale.

Per dimensione sociale s'intende un approccio rivolto alla conoscenza diretta del territorio, della cultura e delle tradizioni della popolazione locale.

La dimensione ambientale ha come postulato fondamentale il mantenimento dell'integrità degli ecosistemi che si traduce in una conservazione delle condizioni generali e specifiche che consentono di mantenere l'ecosistema planetario e quelli locali in condizioni di autosostentamento e rigenerazione.

Le dimensioni economico, sociale e ambientale dello sviluppo vanno integrate nelle politiche di uso e tutela delle risorse alle diverse scale in modo non settoriale ma cercando di coglierne le relazioni, il loro grado di influenza positiva e di conflittualità reciproca.

Pianificare la sostenibilità

Come il concetto di sviluppo sostenibile anche la teoria della pianificazione si è andata evolvendo in modo sofferto e spesso poco concreto. La definizione stessa di pianificazione vede una molteplicità di interpretazioni da parte degli studiosi del settore poiché coinvolge aspetti e soggetti che rispettivamente permettono angolazioni diverse.
In generale si può affermare che la pianificazione è un processo dinamico, finalizzato all'individuazione di politiche e azioni di conservazione e trasformazione del territorio o parte di esso, attraverso l'applicazione di metodi e strumenti razionali per individuare soluzioni a problemi complessi, con il fine ultimo di migliorare la qualità della vita delle comunità interessate.
Applicare il concetto di sostenibilità alla pianificazione significa trasformare la teoria dello sviluppo sostenibile in azioni concrete da attivare nel territorio alle diverse scale.
I primi interventi al riguardo hanno dimostrato come gli strumenti politici di pianificazione della sostenibilità che hanno la maggiore possibilità di coinvolgere un

elevato numero di cittadini e produttori sono l'introduzione di un sistema di incentivi finanziari per le buone pratiche ambientali e viceversa di tassazioni e controlli per le attività fortemente impattanti nel territorio.
La scelta di quale strumento di governo del territorio applicare e a quale scala per assicurasi la massima efficacia del provvedimento è compito del pianificatore.
Per mettere in atto una serie di politiche concrete è necessaria un'attenta programmazione degli interventi che non può esaurirsi con un elenco e una ripartizione di azioni in sé ma deve necessariamente prevedere una lunga e approfondita fase iniziale di analisi del contesto territoriale, capace di guardarsi indietro per cogliere le radici della situazione attuale e per evitare di tamponare gli effetti negativi visibili sul territorio senza coglierne le cause, e una fase di previsione dei possibili impatti che ogni singolo intervento previsto può generare nei diversi ambiti.

Indicatori ambientali

Un indicatore è un parametro, osservabile e stimabile, che riesce a riassumere le caratteristiche generali di un sistema complesso e pertanto fornisce un contributo altamente informativo.
L'indicatore si riferisce a un parametro o a una specie (chimica, fisica, biologica) avente una stretta relazione con un fenomeno ambientale, in grado di fornire informazioni sulle caratteristiche dell'evento nella sua globalità, nonostante ne rappresenti solo una parte.
Funzione principale dell'indicatore è la rappresentazione sintetica dei problemi indagati in modo però da conservare il contenuto informativo dell'analisi.
Nel corso degli anni molti sono i modelli sviluppati per valutare la sostenibilità degli interventi attraverso l'utilizzo di indicatori. Uno dei primi e più diffusi e il modello PSR (Pressure – State – Response), elaborato inizialmente dalla OECD negli anni '90 e che, con le opportune modifiche e aggiornamenti in seguito alla vorticosa evoluzione delle potenzialità tecnologiche e alle trasformazioni naturali e indotte del territorio, è ancora oggi largamente utilizzato dalle agenzie internazionali anche in ambito europeo.
Secondo tale modello ogni azione di trasformazione del territorio genera pressioni che contribuiscono alle alterazioni dello stato di partenza (prima dell'azione) del contesto in cui si agisce. A queste alterazioni indotte l'ambiente reagisce in vari modi e la stessa società risponde con interventi di mitigazione.
Tra i modelli utilizzati, molto diffusa è anche una versione ampliata del PSR introdotta nel 1995 dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), denominata DPSIR (Driving force-Pressure-State-Impact-Response fig.1).
Il modello DPSIR ha ampliato lo schema degli indicatori aggiungendo:
indicatori di cause primarie (driving force): i settori economici e le attività umane che inducono le pressioni ambientali;
indicatori di impatto (impact), che descrivono gli effetti sull'ecosistema e sulla salute umana derivanti dai fattori di pressione ambientale.

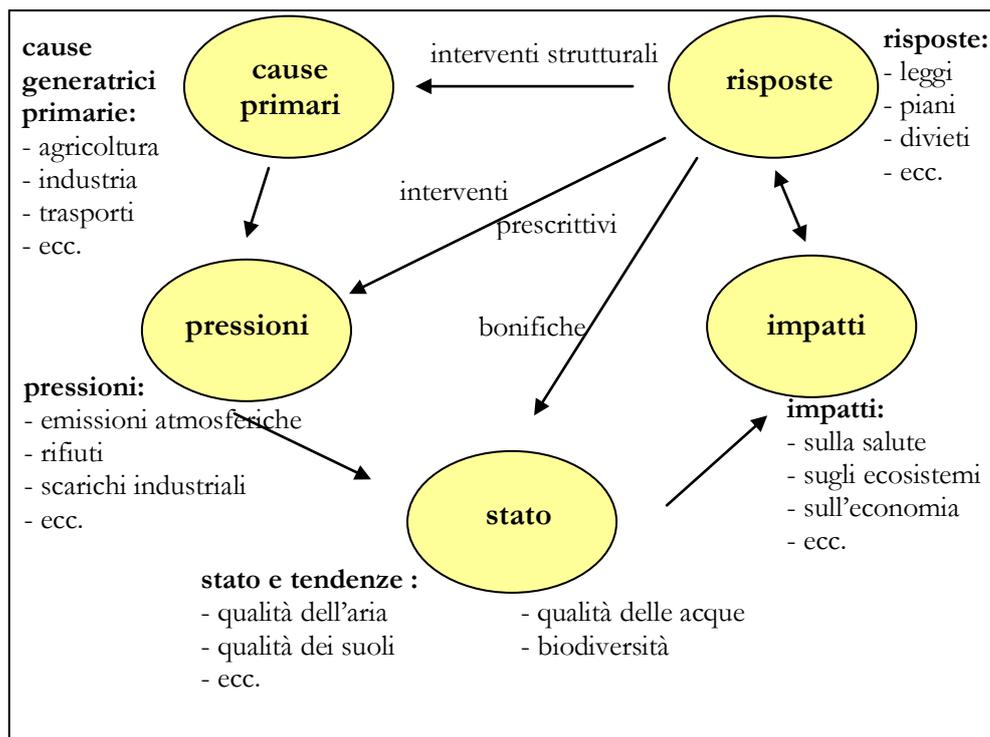



Figura 1 schema DPSIR (Driving force-Pressure-State-Impact-Response)

Spesso gli indicatori necessari alla valutazione dello stato e dell'evoluzione di un determinato sistema sono molto numerosi, anche se di facile comprensibilità e calcolo.
Al fine di rendere sintetica la valutazione complessiva si può ricorrere all'utilizzo di indicatori aggregati o indici. Gli indici normalmente sono dei parametri adimensionali complessi, di estremo interesse in quanto presentano il vantaggio di fornire un'informazione sintetica, ma al tempo stesso rischiano di costituire una semplificazione eccessiva che può oscurare aspetti importanti e distorcere la realtà dei fenomeni rappresentati.
Un esempio di indice è l'impronta ecologica che misura, in ettari, lo spazio naturale occupato per la produzione di risorse e per l'assorbimento di emissioni inquinanti (ad esempio CO2) legate al sostentamento di una determinata comunità.

In sintesi gli indicatori possono essere visti come strumenti per:

- rappresentare in modo semplice problemi complessi
- aiutare a comprendere le correlazioni tra i diversi fenomeni locali e tra i problemi locali e quelli globali
- identificare e analizzare in modo sistematico i cambiamenti, le tendenze, i problemi prioritari, i rischi ambientali
- supportare i processi decisionali locali da parte dei soggetti pubblici e privati
- promuovere l'innovazione e l'integrazione delle considerazioni ambientali nelle politiche locali
- aiutare ad anticipare i problemi e a promuovere l'adozione di strategie di lungo periodo
- fare un bilancio delle azioni adottate e monitorarne l'efficacia
- effettuare una valutazione ambientale rispetto a obiettivi e target di sostenibilità
- facilitare la partecipazione locale, definendo obiettivi e politiche condivise

- aumentare la possibilità di collaborazione tra le comunità locali e tra loro e i livelli superiori di governo (regionali, nazionali, europei).

Continuità ambientale e frammentazione degli habitat

L'uomo è l'unica specie vivente in grado di apportare sostanziali modificazioni all'ambiente che lo circonda. Questa capacità oltre a causare importanti ripercussioni sugli equilibri ecologici e sulla sopravvivenza di moltissime specie animali e vegetali, conferisce d'altra parte all'umanità una enorme responsabilità nei confronti della conservazione della natura.
Una delle principali e delle più dannose conseguenze della forte urbanizzazione del territorio che si è avuta negli ultimi cinquanta anni, è la rottura della continuità ambientale. L'antropizzazione spinta del territorio ha provocato la riduzione in superficie di molti habitat naturali e semi-naturali e la frammentazione di estesi habitat in piccole isole non collegate fra loro.
Ogni piccola alterazione del paesaggio, dovuta ad esempio all'introduzione di una nuova infrastruttura o alla recinzione di un'infrastrutttura esistente, genera una continua riduzione e scomposizione degli attuali frammenti di territorio naturale.
La frammentazione degli habitat, oltre a ridurre la dimensione degli stessi genera il moltiplicarsi dei loro confini. Questa conseguenza è di notevole impatto in quanto il confine di un'area naturale rappresenta una zona molto critica per ogni habitat, poichè costituisce il filtro che l'habitat stesso ha con i territori limitrofi e possiede delle specifiche peculiarità microclimatiche e vegetazionali (ad esempio nel caso di una foresta il confine è un'area maggiormente esposta all'irraggiamento solare con conseguenti alterazioni della temperatura e dell'umidità che possono significativamente alterare l'equilibrio delle comunità faunistico-vegetazionali). Poiché al diminuire della superficie lo spessore del confine, nel caso degli habitat naturali rimane pressoché costante, l'incidenza del cosiddetto effetto frontiera aumenta al diminuire dell'area dell'unità di habitat residua (fig. 2). Inoltre l'incidenza del confine varia al mutare della forma aumentando per le superfici allungate (fig. 3).

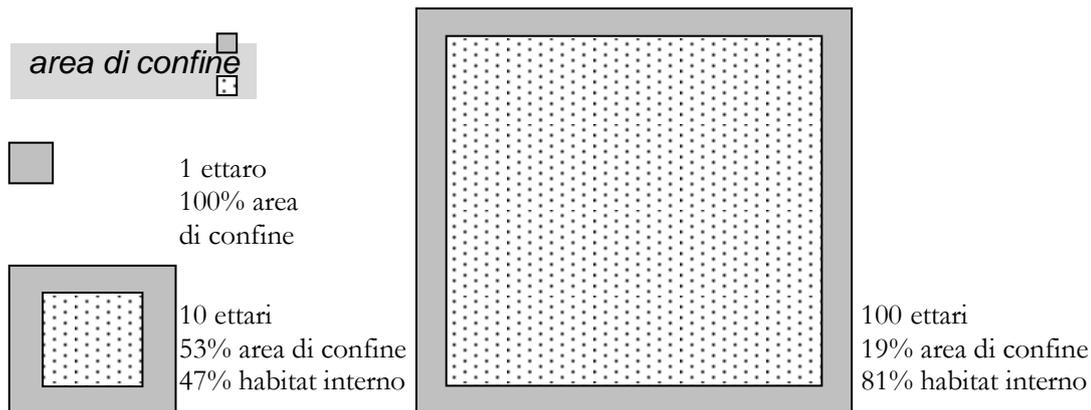



Figura 2 relazione che intercorre tra la superficie del frammento di habitat naturale e l'incidenza dell'effetto frontiera (Colline S.K. 1996)

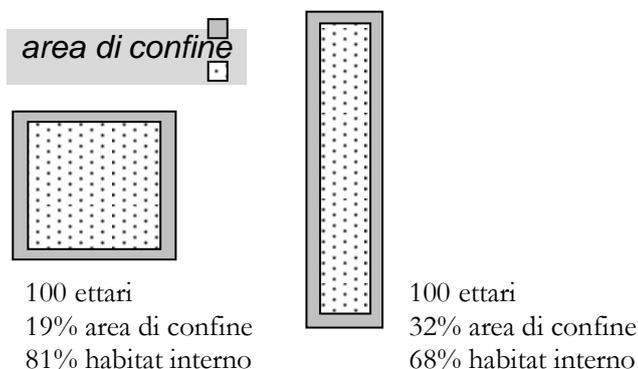



Figura 3 relazione che intercorre tra la forma del frammento di habitat naturale e l'incidenza dell'effetto frontiera (Colline S.K. 1996)

Negli studi rivolti alla protezione della biodiversità bisognerebbe quindi porre attenzione non solo all'estensione dei frammenti che si generano con l'introduzione di una barriera, ma anche al loro numero e alla loro forma. Inoltre a parità di dimensioni e di forma le aree che presentano una maggiore eterogeneità (morfolo_ gica, microclimatica, di tipo e utilizzo di suolo) sono generalmente caratterizzate da una maggiore biodiversità rispetto le unità omogenee.
Insieme agli studi rivolti alla riduzione della frammentazione del territorio, elemento centrale della gestione della biodiversità è la pianificazione del territorio finalizzata ad una corretta destinazione d'uso e una gestione sostenibile all'interno degli habitat naturali esistenti che andrebbero costituiti, nel loro complesso, come aree protette differenziandone le regolamentazioni interne in base alle peculiarità dei diversi ecosistemi.
È necessario rilevare che le aree naturali protette sono in numero limitato e spesso individuate secondo criteri opinabili. Inoltre si è osservato come i parchi funzionano quasi sempre come isole ecologiche di ambiente integro all'interno del territorio antropizzato e compromesso dall'agricoltura industriale o dagli insediamenti urbani. Come avviene nelle isole vere e proprie, le popolazioni corrono il rischio di estinguersi a causa della loro vulnerabilità dovuta all'impossibilità di interscambio genetico all'interno delle singole specie, sia animali che vegetali. In caso di una epidemia, di un

disastro climatico o ambientale tutti gli individui possono morire e l'area non può essere nuovamente colonizzata proprio in virtù del suo isolamento.
La rete ecologica nel suo complesso (aree protette, corridoi di collegamento[15]) è fortemente influenzata anche dal contesto territoriale delle aree limitrofe: il tipo e il grado di difformità tra i diversi habitat, l'uso del suolo, le attività antropiche adiacenti influenzano fortemente il flusso di nutrienti e la persistenza delle specie animali e vegetali nei singoli frammenti.
Per risolvere questo problema è necessario che l'area protetta e la sua zona limitrofa siano gestite come una "unità ecologica" secondo i criteri della biologia della conservazione e dell'ecologia del paesaggio che in questi ultimi anni sono stati messi a punto.
Un primo livello di priorità dovrebbe riguardare gli ambienti intesi come complessi geografici con la loro peculiare fauna e flora.
Un successivo e complementare approccio dovrebbe tener conto degli habitat maggiormente a rischio, per individuare l'insieme delle condizioni ecologiche che consentono alle specie di vivere e riprodursi e per tutelare attraverso il mantenimento o in casi particolari il ripristino, degli equilibri ecologici, la sopravvivenza stessa della biodiversità. Gli interventi di conservazione che riguardano le singole specie minacciate dovrebbero essere limitati a casi "urgenti", poiché quando possibile è preferibile un intervento integrato sull'habitat.
Per quanto riguarda il mondo vegetale, appare evidente che un approccio a livello di singola specie sarebbe insufficiente, mentre un intervento di conservazione avrebbe molto più significato se programmato a livello di habitat o di associazione vegetale.
Per il mondo vegetale assumono una particolare importanza anche le strutture di conservazione *ex-situ,* come orti botanici e vivai con specie autoctone, a differenza del ruolo marginale che hanno zoo o parchi zoologici, come attualmente concepiti nella protezione del mondo animale.

Impatto ambientale delle infrastrutture viarie

Una delle cause fondamentali della riduzione della biodiversità e della scomparsa di aree naturali in Italia, è senza dubbio la progressiva estensione dell'habitat umano: insediamenti residenziali, industriali e infrastrutture che negli ultimi decenni tali processi sono andati crescendo sensibilmente.
L'impatto dell'uomo sul territorio, reso evidente dalla presenza di strutture abitative, di residenza, di soggiorno e industriali, è rappresentato anche da infrastrutture di collegamento che attraversano il territorio con una fitta rete di linee viarie, elettriche e di comunicazione.

[15] Con il termine corridoio si intende generalmente un elemento a sviluppo prevalentemente lineare caratterizzato dalla presenza di vegetazione autoctona che collega due aree ad elevata naturalità. Un fattore importante per garantire la funzionalità del corridoio stesso è l'omogeneità nelle caratteristiche vegetazionali rispetto alle aree che collega. La progettazione di una rete continua di corridoi ecologici è un'operazione molto delicata poiché dipende da una molteplicità di fattori, ancora non tutti studiati approfonditamente. L'utilizzo che le diverse specie fanno dei corridoi può variare sensibilmente in base alla vegetazione presente negli stessi, alle loro dimensioni trasversali, alla caratteristiche delle specie interessate, al contesto territoriale in cui s'inseriscono.

La rete viaria rappresenta la più diffusa forma di modificazione del paesaggio avvenuta durante il secolo scorso e in particolare dopo la seconda guerra mondiale, in seguito alla diffusione dell'auto privata. Si stima che nella maggioranza delle nazioni industrializzate la percentuale di territorio occupata da strade e annessi è pari a 1-2% del territorio complessivo.
Gli impatti fisici di strade, ferrovie ed elettrodotti generano effetti sia di carattere estetico-paesaggistico, prodotto dalla stessa presenza fisica nel territorio dell'infrastruttura che ne modifica il disegno originale, sia effetti di inquinamento e di rischio idrogeologico.
Gli impatti di rilevanza ecologica sono riconducibili alla perdita di habitat naturali, cioè si riferiscono alla riduzione di area totale causata dalla trasformazione della superficie naturale in superficie artificiale attraverso l'introduzione dell'infrastruttura (effetti diretti), oltre che all'inserimento all'interno di un habitat di una causa diretta di decesso per la fauna, come l'attraversamento di strade e ferrovie, o le barriere fonoassorbenti trasparenti che sono un'importante causa di mortalità per l'avifauna e sono infatti oggetto di studi specifici (ad esempio "Sicurezza stradale e fauna" LIPU-Ministero delle Infrastrutture e Trasporti).
I processi ecologici o effetti indiretti invece si riferiscono alla frammentazione di un habitat in unità più piccole e isolate; fenomeno che può generare tutta una serie di effetti secondari come l'invasione di specie esotiche, la riduzione della mobilità delle specie, l'alterazione dei flussi ecologici. Questi effetti sono causati dalla presenza dell'infrastruttura stessa piuttosto che dall'uso che ne viene fatto, e sono quindi comuni a tutte le infrastrutture lineari (strade, ferrovie, reti di condotte, ecc.).
Il grado d'impatto ecologico generato dalla rete viaria dipende da una molteplicità di fattori che vanno dalle caratteristiche delle specie locali coinvolte alla tipologia di strade, in particolare i fattori che intervengono sono:

- la larghezza e il tipo di pavimentazione della strada, il suo andamento (i dislivelli, le curvature) la lunghezza, le misure di mitigazione presenti;
- le caratteristiche della banchina (larghezza, pavimentazione) e del bordo stradale (dispositivi di ritenuta, elementi di arredo funzionale;)
- il livello di traffico, la velocità media, l'andamento dei flussi(costante o periodico nella giornata), la composizione modale (il traffico di mezzi pesanti ha un impatto differente rispetto l'auto privata);
- l'utilizzo del suolo delle aree limitrofe;
- il numero e la forma di unità territoriali in cui l'infrastruttura divide il territorio;
- le caratteristiche delle specie locali (varietà e consistenza, tipo di alimentazione, estensione degli habitat, dinamica della popolazione, rarità).

Il livello di barriera e gli effetti di mortalità sulle specie vengono determinati dall'insieme delle caratteristiche sopra elencate.
Studi al riguardo hanno dimostrato come le strade costituiscano le infrastrutture di comunicazione a più elevato rischio per la fauna, soprattutto quelle che attraversano territori naturali.
Solo una volta comprese a fondo tutte le implicazioni che una infrastruttura viaria ha con il territorio che attraversa, è possibile individuare gli interventi di mitigazione necessari che devono rispettare le reali esigenze delle specie animali presenti nella zona e essere diversificati in base alla tipologia di infrastruttura in modo tale da mediare le esigenze di comunicazione di coloro che usano la strada con quelle di coloro che la subiscono.

Allocazione di infrastrutture viarie nel paesaggio: strategie tecniche e sistemi di pianificazione

Le infrastrutture in generale, e quelle dedicate alla mobilità in particolare, hanno un rilevante e crescente impatto sugli assetti del territorio. Nel contesto nazionale, in media ogni 100 chilometri quadrati ci sono 55 chilometri di strade, 5,4 chilometri di ferrovia ed è in atto una continua crescita di domanda di mobilità di passeggeri e merci. Se la crescente domanda di mobilità continuerà ad essere soddisfatta con l'aumento della rete stradale, senza rispettare criteri di sostenibilità, diventerà inevitabile produrre impatti non solo locali e circoscritti, ma globali.
Il problema della pianificazione sostenibile delle infrastrutture viarie non si dovrebbe orientare solo sulla ricerca di metodologie e strumenti in grado di individuare la migliore allocazione di nuovi percorsi, ma dovrebbe riguardare anche l'approfondita analisi della rete stradale esistente al fine di determinare:

- i percorsi che necessitano di innovazioni tecnologiche e di ammodernamenti al fine di garantire un aumento dei flussi veicolari e velocità adeguate;
- i percorsi che, per le loro caratteristiche intrinseche e per la fragilità dell'ambiente circostante, devono essere declassati; cioè interventi (dissuasori di velocità, pavimentazione adeguata, semafori) finalizzati alla riduzione al loro interno della velocità e della mole di traffico che andrà deviata su percorsi alternativi adatti a consistenti volumi di traffico ed elevate velocità;
- i tratti stradali che sono insostenibili e che vanno rimossi e sostituiti con percorsi alternativi.

Le infrastrutture di trasporto costituiscono l'ossatura dell'organizzazione del territorio e devono rispondere agli stessi obiettivi di qualità, economicità, e sostenibilità ambientale dell'organizzazione del territorio nel suo complesso.
Prima dell'introduzione della Valutazione Ambientale Strategica (2001) lo studio degli impatti della nuova viabilità veniva fatto solo in fase di progetto dell'infrastruttura attraverso lo strumento di Valutazione d'Impatto Ambientale.
La valutazione d'impatto ambientale è comunemente definita come il cambiamento di stato dell'ambiente apportato dalla realizzazione dell'infrastruttura.
Per valutare questo cambiamento solitamente si costruisce un percorso articolato in tre stadi:

- Studio preliminare: descrizione dello stato dell'ambiente senza l'opera prevista in progetto;
- Previsione dell'impatto: la valutazione ex-ante dei possibili effetti dell'opera sull'ambiente;
- Valutazione d'impatto: la valutazione dell'importanza degli impatti previsti tenendo in considerazione le condizioni dell'ambiente individuate nello studio preliminare.

Le considerazioni concerneti gli effetti di una nuova infrastruttura sulla biodiversità sono andate ad integrare le procedure standard di VIA in seguito alla Convenzione sulla Diversità Biologica (UNCED, 1992, articolo 14).
Analizzando più in dettaglio le tre fasi si possono mettere in evidenza quali sono i più comuni limiti delle valutazioni di impatto.

- Studio preliminare

Lo scopo dello studio preliminare è quello di definire l'area di studio e di implementare un database sul quale verranno costruite le successive fasi della valutazione. La definizione dell'area risulta un'operazione fondamentale in quanto si stabiliscono i confini oltre i quali non verranno presi in considerazione gli effetti sull'ambiente dell'opera.
Sarebbe necessario quindi che tale definizione fosse suffragata da valutazioni di tipo ecologico e non operata in modo arbitrario. Al contrario ciò che troppo spesso si osserva è che l'area di studio viene limitata ad un'esigua striscia di terreno che corre lungo l'asse dell'infrastruttura in oggetto.
L'effetto di ciò è che la raccolta dei dati risultante viene ristretta alla fascia di territorio artificialmente definita senza tener conto della distribuzione effettiva dei processi ecologici.
Dopo aver definito l'area di studio, la fase successiva dell'analisi preliminare prevede l'individuazione delle caratteristiche che devono essere studiate e mappate all'interno di quell'area.
E spesso si assiste ad una sostanziale incongruenza tra le raccomandazioni degli studi reperibili in letteratura e la normale pratica di valutazione.
Le valutazioni tengono normalmente in considerazione solo alcuni aspetti, come ad esempio i siti già designati alla conservazione dell'ambiente naturale (riserve naturali, biotopi, SIC, parchi naturali, ecc.). Al contrario ci si dovrebbe interessare del valore ecologico complessivo dell'area attraversata dall'infrastruttura e non concentrarsi solo nelle aree caratterizzate dai vincoli di cui sopra, perché spesso queste aree sono spazialmente limitate e possono non rappresentare gli effettivi areali di spostamento di alcune specie.

- Previsione degli impatti

La perdita diretta di habitat è, al meno in linea di principio, piuttosto inequivocabile da prevedere, al contrario della frammentazione che è un fenomeno molto più complesso e la cui stima comporta un più alto grado di incertezza.
La perdita diretta di habitat è il tipo di impatto più evidente causato dalla realizzazione di un'opera e la sua previsione viene regolarizzata da numerose leggi e linee guida nazionali ed internazionali.
Ciò nonostante la sua misurazione è un'operazione più difficile di quanto a prima vista non appaia. Infatti pur se la larghezza della strada è nota già in fase di progetto, l'area totale in cui si hanno delle sostanziali modificazioni della copertura vegetale del terreno è generalmente più ampia, sia a causa della presenza di infrastrutture necessarie per garantire la sicurezza e la manutenzione (aera di rispetto, guardrail, ecc.), sia per il terreno occupato in fase di cantiere.
Normalmente quest'area totale viene rappresentata con un buffer che si estende lungo l'asse della strada, la cui ampiezza di questo buffer può però variare da qualche decina a qualche centinaio di metri, a seconda del tipo di strada e dell'approccio dei vari autori di studi in materia.
Per ciò che riguarda la frammentazione i problemi risultano ancora maggiori a causa della complessità delle dinamiche in oggetto, nonostante essa sia considerata una delle maggiori minacce per la biodiversità a livello internazionale.
Per risolvere questo problema sono stati proposti degli appositi indicatori spaziali, come la dimensione dell'unità di habitat (patch size), la forma e la distribuzione, l'analisi dei

quali può fornire importanti strumenti per la previsione degli effetti della frammentazione.

- Valutazione d'impatto
La valutazione d'impatto consiste nell'attribuzione della significatività agli impatti previsti nella fase precedente per poter contribuire efficacemente ai processi decisionali.
Il principale limite di questa fase è che spesso si limita a considerazioni descrittive sui possibili effetti causati dall'infrastruttura viaria in oggetto spesso mancando una valutazione quantitativa che invece sarebbe necessaria per favorire il processo decisionale e il confronto tra varie alternative.
Un tipico approccio è quello di stabilire l'impatto complessivo tramite l'attribuzione di pesi: le aree che verranno perse con la realizzazione della strada vengono moltiplicate per il peso a loro attribuito e poi sommate per ottenere il valore complessivo.
Il problema si sposta quindi sull'attribuzione dei pesi e, nel caso in cui le aree vengano distinte su base linguistica (valore "alto", "medio", basso"), nel rapporto quantitativo esistente tra le varie classi di importanza.
Un altro possibile approccio (apparentemente meno analitico) consiste nel valutare separatamente l'impatto che l'infrastruttura ha sui diversi habitat, offrendo invece il vantaggio di non forzare operazioni come la somma pesata per habitat diversi.
La costruzione di una strada non comporta però solo la perdita di parte degli habitat coinvolti, ma implica anche un peggioramento della qualità di quelli residuali, dovuta alla frammentazione e consente conseguentemente la valutazione del peggioramento.
L'Unione europea ha proposto, nel suo Libro Bianco sulla politica dei trasporti, di invertire le tendenze in atto. Ha inoltre introdotto, con la Direttiva 2001/42/CE (Valutazione Ambientale Strategica VAS) l'obbligo di valutazione preventiva degli impatti ambientali di piani e programmi e non più solo delle singole opere (VIA).
Con tale direttiva si garantisce un elevato livello di protezione dell'ambiente e si contribuisce all'integrazione di considerazioni ambientali negli strumenti di pianificazione e progettazione, al fine di promuovere lo sviluppo sostenibile. Si assicura altresì che venga effettuata la valutazione ambientale di scala vasta dei piani in diversi momenti, dalla fase di elaborazione degli stessi fino a quella di monitoraggio delle interazioni sinergiche e conflittuali sui territori in oggetto, conseguentemente alla loro adozione.
Dal punto di vista "procedurale" essa è innovativa rispetto alle precedenti valutazioni a scala locale e di progetto (VIA) in quanto prevede che la valutazione debba essere effettuata durante la fase preparatoria del piano e anteriormente alla sua adozione o all'avvio della relativa procedura legislativa (valutazione ex-ante, intermedia ed ex-post) e perchè si realizza ad una scala vasta di pianificazione.
Gli strumenti sopra descrittti (Via, Vas) rappresentano una buona base di supporto alle decisoni in fase di pianificazione degli interventi, ma devono essere considerati non a se stanti ma come una necessaria integrazione di metodologie organiche e complete di pianificazione delle trasformazioni territoriali.
La rete viaria è necessaria al nostro sviluppo e benessere e va considerata una delle risorse del territorio da promuovere e proteggere nel rispetto delle restanti. Una metodologia di pianificazione sostenibile finalizzata all'inserimento di infrastrutture viarie nel paesaggio prima di tutto deve valutare la reale necessità di una nuova infrastruttura.

Infatti l'ipotesi di tracciare nuovi percorsi va valutata in modo attento e oculato poiché molti sono i fattori che interagiscono. Inoltre va ribadito come il territorio nazionale sia caratterizzato da una fitta viabilità che fornisce una vasta scelta per il disegno finale del percorso e la tipologia del tracciato. Se una volta valutata l'offerta di vie di comunicazione già presenti nel territorio, del loro grado di utilizzo e delle potenzialità di aumento dell'efficienza e mitigazione degli impatti, ancora risulta necessaria l'introduzione di un nuovo percorso, lo studio del tracciato di massima va fatto necessariamente in fase di VAS valutando cioè le interazioni positive e negative del tracciato con le componenti territoriali e individuando un percorso a minimo impatto e massima efficienza.

Sistemi Informativi Geografici a supporto della pianificazione

Il punto di partenza per le teorie attuali sulla pianificazione può essere stabilito nella Grande Depressione del 1929 (Stati Uniti), quando apparve chiaro anche ai governi liberali che il mercato richiedeva interventi forti di regolamentazione. L'esigenza di una regolamentazione e di un governo dello sviluppo del territorio anche a livello nazionale nasce dunque in epoca moderna, quando si rende manifesta la necessità di un più corretto e razionale uso dello spazio territoriale e della tutela degli equilibri naturali.

Oggi esistono molti strumenti metodologici il cui scopo è quello di integrare le istanze dello sviluppo sostenibile nelle fasi di analisi, programmazione e azione sul territorio, urbano o rurale che sia.

In quest'ambito è necessario ricordare che gli strumenti di programmazione oggi a disposizione delle amministrazioni, dal livello nazionale e in generale sovra-regionale (Piano di Sviluppo Triennale, Piano di Bacino, Piano degli Enti Parco, ecc.) a quello comunale (Piano Regolatori) passando per quelli di competenza regionale (Piano Urbanistico Territoriale, PUT; Piano di Sviluppo Rurale; Piano Territoriale Paesistico, PTP) a quelli di pertinenza provinciale (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, PTCP), sono molteplici e, seppur con un certo ritardo, oramai integrano parallelamente alle consuete valutazioni sulle destinazione d'uso dei territori di competenza, anche quelle relative agli ambiti ambientali e sociali propri dello sviluppo sostenibile.

Il problema ora sembra piuttosto quello del coordinamento delle competenze causato dal frequente sovrapporsi degli ambiti territoriali di competenza delle varie autorità (coordinamento "orizzontale" delle azioni di governo), unitamente al non meno grave problema causato dall'inefficiente coordinamento "verticale" delle stesse, "che si manifesta clamorosamente ogni qual volta si constata l'incapacità dell'amministrazione centrale di gestire efficientemente le situazioni locali reagendo con la necessaria prontezza alle varie emergenze, o, all'opposto, l'impossibilità per i poteri locali di esercitare pienamente e creativamente le proprie responsabilità istituzionali".

In questo contesto s'inseriscono i sistemi informativi territoriali (SIT) presenti a livello nazionale fin dai primi anni '70, visti come l'insieme delle risorse umane e informatiche in grado di elaborare dati e produrre informazioni in vario modo attinenti al territorio.

La strumento operativo dei SIT è il GIS (Geographical Information System) definibile come un sistema complesso in grado di acquisire, gestire, interrogare e restituire in modo dinamico, attraverso operazioni informatiche, una serie di informazioni territoriali collegando in modo bidirezionale le classiche tabelle di dati (database) ad oggetti territoriali posizionati nello spazio (georeferenziati).

La potenza di questi strumenti consiste nelle loro capacità non solo di gestire la cartografia numerica ma anche di effettuare operazioni specifiche di tipo topologico,

insiemistico e matematico per poter descrivere e interpretare le proprietà spaziali di ogni singolo componente e le relazioni spaziali che intercorrono fra le diverse componenti del "sistema" territorio.
Si stanno mettendo continuamente a punto sempre nuovi strumenti di lavoro più specialistici, basati sull'utilizzo della tecnologia GIS, capaci di gestire quantità di dati elevati e fortemente diversificati, in grado di valutarli e rielaborarli in base alle diverse esigenze, di attivare modelli che comprendano metodi e tecniche per il rilievo, la rappresentazione, l'analisi e la classificazione delle risorse endogene del territorio e che garantiscano il massimo sfruttamento delle potenzialità di sviluppo del territorio in esame. In generale i Sistemi Informativi Geografici costituiscono uno strumento di base per qualunque indagine riferita al territorio, che necessiti di elaborare informazioni georeferenziate.
L'evoluzione dei Gis è stata lenta; i primi Gis sono comparsi a metà degli anni '60, ma solo verso la fine degli anni '80 iniziarono a liberasi dai vincoli di segretezza imposti dalla sicurezza militare e di conseguenza a perfezionarsi.
Attraverso un Gis costruito su di una determinata realtà territoriale è possibile sia monitorare continuamente le sue trasformazioni e sia effettuare simulazioni di possibili scenari di sviluppo. La capacità di compiere analisi complesse e di simulare i principali impatti e percorsi di sviluppo dovuti ai processi pianificatori e progettuali che nel tempo si vanno configurando, fa di questi sofisticati strumenti dei validi strumenti di supporto alle decisioni anche perché un progetto Gis è continuamente aggiornabile in base alle trasformazioni naturali e indotte nel territorio e mediante l'acquisizione di ulteriori informazioni al riguardo.
In pratica implementare un gis per trovare la soluzione ad un problema territoriale vuol dire inserire al suo interno un modello di dati orientato, un insieme di algoritmi finalizzati e un'interfaccia semplificata per gli utenti a cui è destinato:
- per modello dati orientato si intende un modello dati che tenga conto di come i dati debbano essere organizzati per rispondere alle domande che si vorranno fare al sistema.
- gli algoritmi sono veri e propri programmi implementati in ambienti specifici o più semplicemente scritti in macrolinguaggio (cioè come sequenza di istruzioni già disponibili nel gis) che automatizzano le operazioni più avanzate necessarie all'utente, quali il calcolo di indici territoriali, il dimensionamento di una rete, il calcolo di incongruenze spaziali, l'individuazione del percorso ottimale, ecc
- l'interfaccia utente è quella serie di icone, menu, schermate che consentono all'utilizzatore di raggiungere i risultati richiesti senza possedere conoscenze informatiche di alto livello, di richiamare le funzioni più frequentemente richieste all'applicazione e che consentono l'introduzione dei parametri sui quali il sistema effettua i suoi calcoli.
In generale si tratta di un processo volto a combinare, interpretare e trasferire conoscenza da diversi ambiti scientifici, allo scopo di affrontare il problema della sostenibilità delle scelte pianificatorie evidenziandone l'intera catena causa-effetto. Il principale punto di forza di un approccio integrato è la sua multidisciplinarietà, che permette di definire l'oggetto di indagine in modo ampio e preciso, compatibilmente con la conoscenza disponibile e di ridurre il grado di incertezza o comunque di incorporarlo nell'analisi.
La finalità di un approccio integrato non è quella di offrire la scelta obiettivamente migliore tra tante, ma di supportare il decisore nella sua attività tracciandogli una via che gli consenta di raggiungere le proprie determinazioni in maniera sistematicamente

coerente rispetto ai suoi obiettivi e ai suoi valori, dandogli modo di manipolare, nonostante la complessità, la massa di dati a disposizione. La decisione finale dunque dipenderà dalle condizioni poste nella scelta dei criteri, degli indicatori e della loro priorità, ed è quindi importante che tali condizioni siano definite e giustificate; le informazioni soggettive sulle scelte e sulle situazioni devono essere rese esplicite in modo da poter essere confrontate e modificate.

Scenario normativo di riferimento

Il quadro normativo di riferimento relativo agli interventi rivolti alla deframmentazione del territorio, alla tutela della biodiversità, allo studio dell'impatto ambientale delle infrastrutture viarie e alla loro pianificazione sostenibile, non è molto articolato rispetto la rilevanza delle tematiche trattate e si presenta poco organico nel suo complesso.

Di seguito sono state elencate le principali convenzioni internazionali e normative a livello europeo e nazionale suddivise per le tematiche: tutela della biodiversità e deframmentazione del territorio, valutazione d'impatto ambientale delle infrastrutture viarie, valutazione ambientale strategica.

Tutela della biodiversità e deframmentazione del territorio

Convenzioni internazionali:

1. Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD), Nairobi, Kenya, 22 maggio 1992;

La "Convenzione sulla Biodiversità Biologica", viene firmata dai paesi aderenti durante il Primo Earth Summit di Rio de Janeiro nel 1992.

Durante il secondo Earth Summit a Johannesburg nel 2002, i paesi aderenti alla Convenzione si sono impegnati a ridurre significativamente la perdita di biodiversità entro il 2010 (impegno conosciuto come "Target 2010").

Gli organi tecnici della Convenzione sono gli "AHTEG", acronimo della forma inglese *Ad Hoc Technical Expert Group*,, e i gruppi di lavoro "Open Ended".

Gli AHTEG si riuniscono regolarmente; il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio italiano ha ospitato tre incontri dove sono state trattate le seguenti tematiche:

- Responsabilità e risarcimento in ambito di biosicurezza (Roma, 2002);
- Biodiversità montana (Roma, 2003):
- Valutazione del rischio in ambito di biosicurezza (Roma, 2005).

Legislazione europea

- Convenzione di Berna per la Conservazione della vita selvatica e dei suoi biotopi in Europa, 1979. La convenzione è stata firmata da molti paesi europei solo recentemente;
- Direttiva 79/409/CEE "Uccelli". Introduce il concetto di Zona di Protezione Speciale dell'avifauna (ZPS);
- Direttiva 92/43/CEE "Habitat". Introduce il concetto di Siti d'Interesse Comunitario (SIC) e la necessita di realizzare una rete ecologica a livello europeo continua e integrata (rete Natura 2000);
- Convenzione Europea del Paesaggio, 1998. Organizza la cooperazione tra gli stati membri dell'unione Europea in materia di interventi sul paesaggio;
- Programma COST 341 sulla frammentazione degli habitat causata dalle infrastrutture viarie nell'ambito del quadro della Cooperazione europea nel campo della ricerca Scientifica e Tecnica

Legislazione nazionale

- 1939 legge 1497/39 vincola le bellezze naturali e paesaggistiche;
- 1948 Costituzione Repubblicana art.9, sancisce la rilevanza in linea di principio della tutela della natura;
- 1982 legge 979/82, dispone le regole per la tutela del mare
- 1985 legge 431/85, tutela ope legis del patrimonio paesistico e culturale del territorio nazionale;
- 1991 legge 394/91 "legge quadro sulle aree protette". Dispone le regole quadro per la tutela della natura;
- 1994 Ratifica della Convenzione sulla Biodiversità, Legge n. 124 del 14 febbraio 1994;
- 1994 Linee strategiche e programma preliminare per l'attuazione della Convenzione in Italia - Delibera CIPE 16 marzo 1994;
- 1998 - Rapporto Nazionale sullo stato di attuazione della Convenzione sulla Diversità Biologica;
- 1999 testo unico 490/99 in materia di beni culturali e paesaggistici: descrive unitariamente tutto il quadro dei vincoli sul tema;
- 2001 - Secondo Rapporto Nazionale sullo stato di attuazione della Convenzione;
- 2004 - Rapporto tematico sulle aree protette;
- 2004 D.M. 27 aprile 2004. Istituzione del Comitato di coordinamento Nazionale per la Biodiversità, ;
- 2004 D. Lgs 42/2004, Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, ratificato nel gennaio 2006.
- 2005 - Rapporto tematico sulla Global Taxonomy;
- 2005 - Stato della biodiversità in Italia. Contributo alla strategia nazionale per la Biodiversità;

Per quanto riguarda il tema della relazione tra la rete infrastrutturale e la rete ecologica, ai vari livelli, è da notare il fatto che la maggior parte delle azioni in merito sono state prese non a livello nazionale, ma a livello locale ed in particolare provinciale (si considerino ad esempio le azione svolte dalle provincie di: Torino, Modena, Bologna, Grosseto, Firenze, Siena, Pistoia).
A livello nazionale il primo provvedimento in cui è stato preso in considerazione questo tema è il Piano Generale dei Trasporti del 2000.

Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.)

Legislazione europea

- Direttiva 85/337/CE concernente la valutazione dell'impatto ambientale;
- Direttiva 97/11/CE, modifica della direttiva 85/337/CE;
- Direttiva 2003/35/CE, concernente la "Partecipazione del pubblico nell'elaborazione di taluni piani e programmi in materia ambientale e modifica delle Direttive del consiglio 85/337/CEE e 96/61/CE relativamente alla partecipazione del pubblico e all'accesso alla giustizia".

Legislazione nazionale

A livello nazionale l'istituto della VIA risulta attualmente regolato da circa 110 dispositivi la cui lettura deve essere coordinata ed integrata, se ne ricordano solo i principali:

- legge n°349 del 8 luglio 1986 "Istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale", articolo 6: istituzione della procedura di VIA;
- DPCM 27 dicembre 1988: individuazione norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità ambientale; definizione del elaborato noto come Studio Impatto Ambientale (SIA);
- DPCM n.377, 10 agosto 1988: individuazione categorie di opere da sottoporre a procedura di VIA;
- legge n. 443/01 (legge obiettivo);
- D.Lgs n. 190/02, decreto di attuazione in materia di infrastrutture e trasporti;
- legge n.5/04;
- D. Lgs n. 190/02 "Attuazione della legge n. 443/01 per la realizzazione delle infrastrutture e degli insediamenti produttivi strategici e di interesse nazionale".

Valutazione Ambientale Strategica (V.A.S)

Legislazione europea

- Direttiva Europea 2001/42/CE del 27 giugno 2001, concernente "la valutazione di determinati piani e programmi sull'ambiente", con entrata in vigore il 21 luglio 2001 e il cui termine ultimo per il recepimento da parte degli stati membri è stato stabilito nel 21 luglio 2004.

Legislazione nazionale

Lo stato italiano non ha al momento ancora recepito tale direttiva, mentre risulta che varie regioni abbiamo integrato nelle loro norme alcuni elementi resi espliciti dalla direttiva, anche se si nota una generale mancanza di omogeneità dei provvedimenti.

2. Valutazione Ambientale Strategica (V.A.S.) e attività infrastrutturale lineare

Nella valutazione di compatibilità all'inserimento di nuove opere infrastrutturali sul territorio ha acquistato grande importanza (anche in ragione delle disposizioni normative europee e nazionali in materia) la predisposizione della Valutazione Ambientale Strategica.
La Valutazione Ambientale Strategica si configura come un processo sistematico, collocato a monte della fase progettuale dell'opera, in grado di valutare le conseguenze ambientali di un intervento a livello di piano di area vasta.
Il Ruolo fondamentale della VAS è di assicurare che gli effetti ambientali di un intervento siano affrontati in maniera approfondita fin dalle prime fasi del processo decisionale, alla pari con le considerazioni economiche e sociali.
La previsione dell'incidenza degli interventi infrastrutturali sulle matrici ambientali, sociali ed economiche del territorio e la stima delle eventuali ricadute ambientali delle azioni di piano diventano l'obiettivo primario dell'iter valutativo.
Caratteristica fondamentale di questo processo è la consultazione delle parti interessate (associazioni di categoria, organizzazioni ambientaliste, cittadinanza, ecc) e la loro concreta partecipazione all'interno dell'iter decisionale in modo che le scelte siano pienamente condivise da parte delle comunità.
La direttiva 42/2001 (recepita in Italia con D. Lgs. 152/2006) concernente la valutazione degli effetti di determinati piani e programmi, introduce la Vas come procedura cogente per tutti gli stati membri a partire dal 2004.
La direttiva prevede che nella valutazione ambientale strategica "siano individuati, descritti e valutati gli effetti significativi che l'attuazione del piano o del programma potrebbe avere sull'ambiente nonché le ragionevoli alternative alla luce degli obiettivi e dell'ambito territoriale del piano o del programma".
Nell' ambito della pianificazione delle opere legate all'infrastrutturazione lineare la VAS assume un rilievo ancor maggiore in relazione al carattere fortemente strategico degli interventi e al loro sviluppo capillarmente diffuso sul territorio.
All'interno del processo decisionale la VAS si colloca in modo da definire una completa struttura di supporto capace di gestire tutte le fasi dell'iter pianificatorio dalle fasi iniziali di valutazione dei piani programmi al monitoraggio ex post degli interventi.
Prendendo a riferimento il modello di Valutazione Ambientale Strategica derivante sia dai manuali che dalla riforma comunitaria dei fondi strutturali (di cui al Reg. CE 1260/1999), si può prevedere che un piano o programma sia sottoponibile a tre momenti temporali di valutazione:

valutazione ex-ante (che accompagna il piano);
valutazione intermedia (che valuta la coerenza delle prime azioni del piano rispetto alla valutazione ex ante e la qualità della sorveglianza e della realizzazione);
valutazione ex-post (che illustra l'utilizzo delle risorse, l'efficacia e l'efficienza degli interventi e del loro impatto, la coerenza con la valutazione ex ante a fine esecuzione operativa delle azioni del piano).

Nella prima fase del processo di valutazione si pone in maniera centrale la redazione del rapporto ambientale: la conoscenza del territorio, con tutte le sue problematiche, costituisce infatti un momento importante di costruzione del processo decisionale e della valutazione di sostenibilità ambientale. La predisposizione del rapporto ambientale contribuisce a individuare e presentare informazioni sullo stato dell'ambiente e delle risorse naturali (dell'ambito territoriale di riferimento del piano) e sulle interazioni positive e negative tra queste e i principali settori di sviluppo.

Il rapporto ambientale deve contenere una descrizione dello stato attuale dell'ambiente e della sua evoluzione prima della predisposizione dei piani di intervento, una descrizione degli obiettivi di tutela ambientale e del percorso che dove seguire il piano per ottenerla, l'analisi dei possibili effetti ambientali significativi, la previsione di misure tese all'eliminazione, riduzione o compensazione di tali effetti, e una descrizione motivata delle alternative individuate.

Al rapporto ambientale si affiancano in successione le verifiche di compatibilità delle azioni previste rispetto alle disposizioni normative in materia ambientale e urbanistica e alla coerenza con gli obiettivi di qualità ambientale e sociale del territorio

La fase di valutazione intermedia, che corrisponde al monitoraggio degli effetti del piano in fase di sviluppo delle azioni, prevede un primo monitoraggio degli interventi in corso d'opera attraverso la definizione di indicatori di performance ambientale attraverso cui poter eventualmente apportare dei correttivi alle iniziali indicazioni.

La fase di valutazione ex post (che deve essere redatta in genere a 10 anni dall'effettiva conclusione delle opere) diventa il momento conclusivo di verifica dei risultati ottenuti in termini di pressione ambientale delle opere sul territorio.

Di seguito viene proposta un' articolazione delle fasi su cui sviluppare la Valutazione Ambientale Strategica.

1. Valutazione ex ante dei piani di sviluppo
(Definizione del quadro generale degli obiettivi di programma e delle interazioni tra ipotesi di piano e componenti naturali e socio economiche del territorio).

1.1 Caratteristiche del Piano-Programma
(Descrizione delle caratteristiche principali del piano e del campo di applicazione).

1.2 Obiettivi, finalità e priorità del Piano-Programma
(Inquadramento degli obiettivi di sviluppo legati alla definizione del piano).

1.3 Analisi della situazione ambientale e socio culturale
(Definizione delle informazioni e delle criticità sullo stato dell'ambiente e delle risorse naturali, sulla situazione socio economica dell'area e sulla domanda infrastrutturale all'interno dell'ambito territoriale considerato) predisposizione di report specifici (acqua, suolo, clima ed energia, biodiversità, paesaggio e patrimonio culturale, architettonico, archeologico, popolazione e salute umana, ecc, con particolare attenzione alle reti di connettività ecosistemica).

1.4 Coerenza delle azioni di piano/programma con la Normativa Italiana e Comunitaria in materia ambientale e urbanistica

1.5 Interazioni Ambiente/Ipotesi di Piano
(Interpretazione delle reciproche relazioni, positive o negative, tra lo sviluppo dei piani infrastutturali e la conservazione delle risorse ecologico ambientali)
Predisposizione di indicatori sintetici – partecipazione degli Stakeholder.

1.6 Determinazione della coerenza delle ipotesi di piano con gli obiettivi di qualità ambientale e sociale
(Individuazione di obiettivi minimi di qualità sulla base dei quali orientare le ipotesi e le alternative di piano).

1.7 Livelli di Compatibilità e definizione di Ipotesi Alternative
(Soluzioni di **Best Locations** ad area vasta sulla base di indicatori sintetici di sensibilità ambientale e di attitudine all'inserimento di progetti infrastrutturali, applicati attraverso metodologie di analisi di tipo multifattoriale).

2. Valutazione Intermedia
(monitoraggio intermedio degli effetti del piano e della loro coerenza con gli obiettivi generali di tutela e sostenibilità ambientale).

2.1 Definizione di indicatori di performance ambientale
Individuazione di descrittori di performance, di efficienza e di sostenibilità per il controllo degli effetti indotti dallo sviluppo nel tempo delle prime azioni di piano, anche in rapporto ai correttivi apportati in fase di prima definizione delle ipotesi alternative).

2.2 Integrazione dei risultati di monitoraggio verso l'impostazione definitiva del Piano/Programma Infrastrutturale
(Definizione della versione definitiva del piano/programma attraverso il contributo dei risultati della valutazione intermedia).

2.3 Predisposizione di un sistema di monitoraggio dinamico delle azioni di piano
(Creazione di un sistema di controllo continuo della coerenza dei risultati ottenuti in corso d'opera con quelli attesi inizialmente).

3. Valutazione Ex Post
(Valutazione dei risultati finali ottenuti in rapporto agli obiettivi di qualità, all'utilizzo delle risorse, all'efficacia e all'efficienza degli interventi e alle previsioni ex ante).

3. Metodologia per la localizzazione ottimale di nuove infrastrutture viarie

Premessa

Per quanto concerne la progettazione di opere sia di carattere puntuale (siti produttivi, cave, dighe, ecc.), sia lineare (reti stradali, energetiche, ecc.),è sempre più frequente il ricorso a modelli analitici che comportano la riduzione degli impatti generati sulle componenti ambientali e paesaggistiche attraverso una ottimale localizzazione degli interventi sul territorio. Tali modelli, nella maggior parte dei casi, vengono implementati all'interno di Sistemi Informativi Geografici (GIS), con l'obiettivo di realizzare dei veri e propri sistemi a supporto delle decisioni nell'ambito della gestione del territorio (SDSS – Spatial Decision Support Systems). Nello sviluppo dei modelli, generalmente, si fa riferimento alle tecniche di analisi multicriteri utili per una valutazione combinata dei differenti fattori economici, sociali ed ambientali ritenuti significativi ai fini del processo decisionale. Per quanto concerne la progettazione di opere pubbliche, l'individuazione dei criteri e la determinazione dell'importanza relativa degli stessi all'interno del modello dovrebbe essere sviluppata secondo una logica partecipativa e attraverso percorsi iterativi finalizzati al progressivo perfezionamento del modello di valutazione.
Le metodologie finalizzate all'ottimale localizzazione sul territorio delle opere (ottimizzazione localizzativa o *best location sites*,) traggono origine da procedure sviluppate negli anni „70 nei paesi dell'America settentrionale (Stati Uniti e Canada) per la certificazione ambientale delle reti elettriche. Nel corso degli ultimi anni sono state sviluppate metodologie di valutazione più accurate, finalizzate all'individuazione di corridoi a ridotto impatto ambientale con l'obiettivo di facilitare la collocazione di nuove linee elettriche sul territorio. Il presupposto di tali metodologie è la definizione di una serie di fattori-condizioni (di natura tecnologica, economico ambientale, socio-culturale, ecc.) che intervengono nella messa in opera di un nuovo progetto infrastrutturale e l'identificazione degli elementi di compatibilità/incompatibilità che nascono dal rapporto tra i fattori considerati e la nuova infrastruttura. La sovrapposizione ed il confronto integrato dei vari fattori, attraverso strumenti di gestione dei dati spaziali (GIS) e l'elaborazione delle informazioni acquisite tramite l'uso di tecniche d'analisi multicriteri, permette di individuare percorsi ottimali, delimitati da corridoi di ampiezza determinata, all'interno dei quali è minima la presenza di elementi di incompatibilità alla costruzione dell'opera. In tal modo le esigenze di carattere ingegneristico legate alla progettazione dell'infrastruttura vengono commisurate alla necessità di tutela paesaggistico-ambientale e alla domanda di sviluppo socio-economico.
Questa impostazione metodologica, opportunamente adattata, può essere applicata per l'individuazione di corridoi a ridotto impatto ecologico-ambientale per tutte quelle opere che prevedono uno sviluppo sul territorio di tipo lineare, come nello caso di nuovi progetti di viabilità.

Obiettivi e fasi della ricerca

Obiettivo dello studio è l'individuazione di uno strumento in grado di definire la migliore collocazione sul territorio di nuovi progetti infrastrutturali viari secondo un approccio orientato alla sostenibilità ecologica, in grado in particolare di minimizzare la frammentazione e la disgregazione degli habitat.
La metodologia proposta prevede l'applicazione di tecniche orientate all'analisi multicriteri attraverso cui valutare le soluzioni progettuali sulla base di un numero di fattori significativi tra loro interagenti (ecologico ambientali, tecnici, socio culturali).altrimenti non confrontabili tra loro e di fornire al decisore un supporto di valutazione in grado di realizzare il più accettabile compromesso fra i diversi obiettivi perseguiti.
L'applicazione della metodologia avviene attraverso l'implementazione delle informazioni all'interno di un Sistema Informativo territoriale dedicato, tramite il quale vengono espletate tutte le operazioni di analisi.
L' iter procedurale del lavoro (fig. 4) si sviluppa secondo tre principali step successivi:
- individuazione del quadro di riferimento riguardante i fattori ecologici, ambientali e socio-culturali considerati nello sviluppo del modello;
- definizione di aree a ridotta sensibilità ecologico ambientale all'inserimento di infrastrutture lineari;
- identificazione di corridoi a ridotto impatto ecologico nei quali è possibile inserire ipotetici tracciati di progetto.
In altre parole vengono messe in relazione, in ambiente GIS, informazioni relative ai caratteri peculiari del territorio e al suo grado di infrastrutturazione al fine di individuare le aree ad elevata valenza ecologico-ambientale e quelle ad alto grado di frammentazione. Per aggregazioni successive si determina un indice ponderato di sensibilità globale calcolabile per tutto il territorio in esame e utilizzabile per l'individuazione di un corridoio a basso impatto ai fini dell'ottimizzazione localizzativa dell'infrastruttura viaria di progetto.

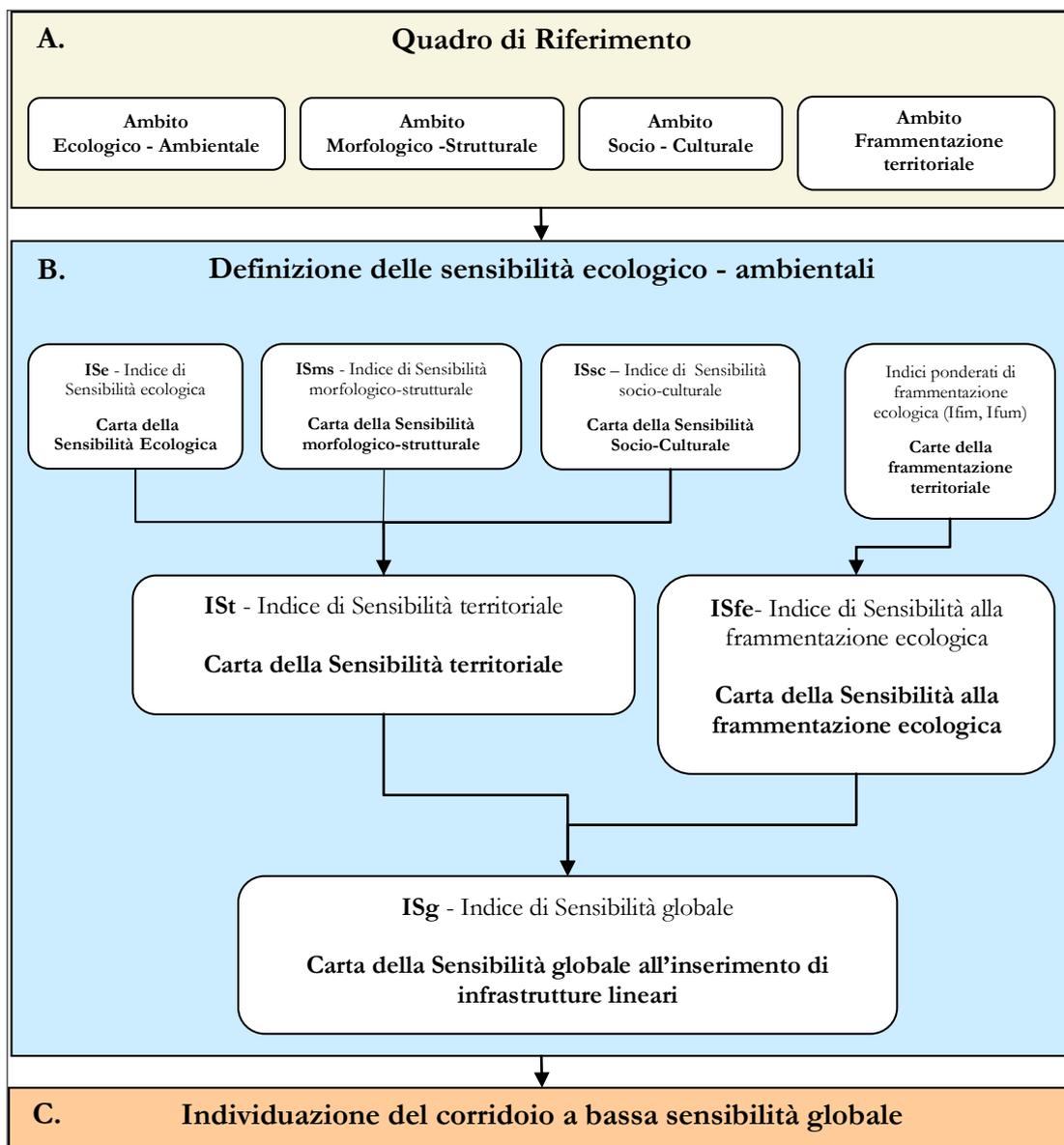



Figura 4 Schema sintetico delle fasi individuanti l'articolazione metodologica per la localizzazione ottimale di nuove infrastrutture lineari

Individuazione del quadro di riferimento

La definizione del quadro di riferimento costituisce la prima parte fondamentale dell' elaborazione di ogni processo di valutazione. Essa consiste nella raccolta, nello studio e nell' analisi delle informazioni fondamentali riguardanti il territorio da analizzare, capace di fornire una lettura omnicomprensiva degli elementi strutturali che lo definiscono.
In relazione agli obiettivi del lavoro, si è ritenuto opportuno suddividere le informazioni di base nei seguenti quattro macro ambiti:

1. Ambito Ecologico-Ambientale
2. Ambito Morfologico-Strutturale

3. Ambito Socio-Culturale
4. Ambito Frammentazione territoriale

Sulla base di queste definizioni iniziali è stato selezionato un set di informazioni che rappresenta il nucleo fondamentale per le successive operazioni di analisi legate alla produzione di indici sintetici.

Ambito Ecologico-Ambientale

L'analisi delle relazioni tra i sistemi ecologici e lo sviluppo antropico rappresenta un elemento di valutazione fondamentale per definire il corretto inserimento di un opera nel contesto territoriale. Gli ambiti naturali e quelli insediativi si inseriscono nella dimensione geografica delineando un mosaico, oggi sempre più sfumato, di forme strettamente interconnesse sia dal punto di vista spaziale che delle interazioni funzionali. La lettura di queste dinamiche è utile alla comprensione degli effetti dello sviluppo insediativo e più generalmente antropico (sistema urbano ed agricolo) sul sistema ambientale.

Tipologie d'uso e copertura del suolo

La descrizione degli usi del suolo è uno degli elementi fondamentali di lettura della complessità ambientale, attraverso cui è possibile interpretare l'insieme degli elementi caratteristici di una determinata zona, le loro interdipendenze e i livelli di pressione ambientale (rapporto tra spazio modellato artificialmente e dimensione naturale) sui sistemi ecologici.

Poiché la metodologia di ricerca è rivolta ad un'indagine territoriale di vasta scala, per l'acquisizione dei dati relativi alle tipologie d'uso e copertura del suolo, una buona base è rappresentata dal Progetto Corine Land Cover (scala 1.100.000). Il Corine Land Cover classifica le tipologie di copertura e uso del suolo in base a tre differenti livelli di dettaglio, per le analisi previste nella metodologia impostata il dettaglio del secondo livello del Corine può essere considerato una buona base di lavoro.

Parchi nazionali, parchi regionali, SIC, ZPS:

La presenza di aree tutelate a vario titolo per la loro particolare valenza ecologica è stata utilizzata per meglio definire la distribuzione di quelle aree la cui conservazione diventa prioritaria per un processo di pianificazione del territorio

Livelli di biodiversità delle specie minacciate:

La biodiversità rappresenta un indicatore fondamentale per la verifica del buono stato di conservazione del territorio, sia da un punto di vista ecologico che paesaggistico. I processi di frammentazione degli habitat, derivati da uno sviluppo antropico non adeguatamente gestito, rischiano di compromettere irreparabilmente questa insostituibile risorsa.

Ormai da tempo l'obiettivo della conservazione della biodiversità è inserito come tema prioritario delle azioni di programmazione internazionale e comunitaria, con il fine di indirizzare e promuovere politiche ambientali di conservazione mirate alla valorizzazione e alla tutela delle risorse ecologiche e del paesaggio.

Una buona fonte di acquisizione dei dati può basarsi sui risultati del progetto di Rete Ecologica Nazionale dei vertebrati italiani (REN). La metodologia messa a punto

prevede l'utilizzo dell'indice di biodiversità delle specie definite minacciate in base all'elenco delle specie inserite nelle Liste Rosse IUCN e negli allegati delle direttive 79/409/CEE e 92/43/CEE. Questa particolare scelta è stata operata per attribuire alla valutazione un ulteriore elemento di tutela delle risorse ecologico ambientali.

Ambito *Morfologico-Strutturale*

La considerazione dei limiti morfologici e strutturali dei suoli è uno dei fattori fondamentali da cui non si può prescindere nel definire la migliore collocazione di un tracciato stradale. La presenza di terreni pianeggianti piuttosto che in rilievo, o le particolari caratteristiche litologiche dei suoli rappresentano un elemento di valutazione fondamentale in fase di progetto, influendo pesantemente sugli aspetti economico operativi. Tali considerazioni non possono essere tralasciate anche in sede di analisi d'area vasta. In più va detto che le condizioni strutturali (giacitura, litologia, ecc) dei suoli influiscono sulla stabilità dei versanti introducendo un ulteriore termine di interpretazione di carattere ambientale.

Morfologia :

La morfologia descrive la forma del territorio in funzione delle caratteristiche altimetriche e si evolve dinamicamente in conseguenza dei processi naturali e antropogeografici che vi si instaurano. La variazione locale della morfologia del terreno influenza profondamente la biosfera, il microclima, il ciclo idrologico e in generale la distribuzione delle attività umane sul territorio. Lo studio e l'interpretazione del rilievo terrestre può essere condotto attraverso la produzione di modelli digitali di rappresentazione del territorio (DTM).

La possibile integrazione dei modelli 3D del territorio con banche dati geografiche e con programmi di geostatistica, costituisce una via privilegiata per affrontare tutte le problematiche di pianificazione ambientale.

Geolitologia:

L'informazione geolitologica fornisce indicazioni sulla genesi e l'associazione delle rocce (le Formazioni geologiche, natura giacitura, distribuzione spaziale di rocce e terreni affioranti). Tale informazione costituisce la base per la comprensione delle varie fenomenologie che si relazionano all'uso e al "consumo" di suolo (erosione, dissesti, dinamica delle acque superficiali e sotterranee, tipologie di suoli e sviluppo di una copertura vegetale). Una buona fonte di acquisizione dei dati è rappresentata dalla Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000) che descrive le Formazioni geologiche affioranti e le organizza cronologicamente in Serie Stratigrafiche secondo i meccanismi supposti alla base dei movimenti tettonici che hanno costruito i rilievi appenninici.

Ambito Socio-Culturale

Lo sviluppo delle infrastrutture viarie sul territorio risponde ad una domanda di comunicazione che è direttamente proporzionale alla diffusione del sistema insediativo (più saranno diffusi i centri abitati, più la rete stradale dovrà essere capillare e ramificata), ai livelli crescita economica (che deve essere necessariamente supportata da un efficiente sistema di comunicazioni) e ai livelli di densità demografica (le aree

maggiormente popolate sviluppano volumi di traffico molto elevato che necessitano di una rete viaria ad alta capacità veicolare e molto articolata).
In sede di analisi sono stati così presi in considerazione gli aspetti riguardanti la diffusione dei centri abitati e la loro densità demografica.
Altro elemento da prendere in esame, in tema di rapporto tra infrastrutture e dimensione socio-culturale, è la tutela dei valori del paesaggio storico. In sede di ricerca si è scelto di porre l'attenzione sulla presenza delle emergenze storico culturali, viste come elemento identitario del paesaggio.

Aree insediative:
La descrizione della struttura insediativa del territorio in termini di distribuzione dei centri abitati e della loro dimensione demografica (numero di abitanti per ciascun insediamento) è funzionale alla determinazione della domanda potenziale di collegamento infrastrutturale. Fonte specifica di tali dati sono i rilievi prodotti dall' Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) in occasione dei periodici censimenti nazionali della popolazione e del lavoro, ritrasposti su base cartografica numerica.

Emergenze storico-architettoniche:
Il patrimonio storico architettonico rappresenta una risorsa da difendere e da valorizzare in termini di compatibilità dei processi di trasformazione del territorio. Tra le emergenze storico culturali vanno inserite tutte quelle tipologie edilizie quali i centri storici delle città e i piccoli insediamenti isolati, i complessi religiosi e le chiese, i monumenti e gli insediamenti rurali produttivi e residenziali. Gli elementi considerati contribuiscono a ricostruire i percorsi del processo di trasformazione storica del paesaggio e allo stesso tempo rappresentano la ricchezza del territorio dal punto di vista del patrimonio culturale.

Ambito frammentazione territoriale
Per frammentazione territoriale si intende quel processo, derivante dalla crescita antropica che produce una graduale riduzione degli spazi naturali e il loro isolamento. Gli spazi naturali e gli habitat in essi contenuti, vengono ridotti in frammenti isolati inseriti in una matrice territoriale di tipo antropico (ecomosaico).
Il rapporto che lega lo sviluppo della rete infrastrutturale e l'ambiente induce a considerare con particolare attenzione la frammentazione dei sistemi ecologici. Tracciati stradali e nuclei insediativi con la loro diffusione capillare su tutto il territorio causano delle cesure nel mosaico paesaggistico che hanno un importante impatto in termini di conservazione della biodiversità. La separazione degli habitat in piccole aree porta ad un progressivo isolamento delle popolazioni biologiche (si riduce la qualità dell'habitat ottimale per le specie che vedono contrarsi la superficie a loro disposizione al disotto del livello minimo vitale e la ridotta mobilità degli animali influisce negativamente sullo scambio di animali tra aree diverse e quindi sulla diversità specifica).
La frammentazione provocata dall'espansione insediativa si pone altresì in rapporto con le alterazioni della struttura del paesaggio visto sia come "tessuto di ecosistemi interagenti in un intorno geografico riconoscibile" (Ingegnoli 2005), sia come spazio dove le componenti naturale e culturale del territorio sono state modellate dall'azione dell'uomo nel corso del tempo.

Infrastrutture stradali:

Le strade rappresentano un elemento determinante della frammentazione territoriale in quanto tendono a diffondersi in maniera capillare e continua sul territorio. Lo sviluppo dei tracciati viari contribuisce a determinare diversi effetti di occlusività in rapporto alla larghezza della sede viaria e ai volumi di traffico che sopportano. A larghezze della sezione stradale e densità di traffico maggiori, corrisponderanno effetti più pesanti in termini di diminuzione della mobilità degli animali ed isolamento degli habitat. Gli effetti più marcati di questo fenomeno vengono rilevati a carico dei mammiferi terricoli, rettili, anfibi e invertebrati terrestri.

Insediamenti:
Le aree urbane con il loro sviluppo sempre più diffuso e articolato rappresentano un'importante fattore barriera, sia di tipo materiale (l'edificato) che immateriale (disturbo sonoro, disturbo dovuto all'affollamento umano, cattiva qualità dell'aria, inquinamento luminoso), alla mobilità degli animali. La distribuzione spaziale dell'insediamento è un parametro importante per valutare il grado di frammentazione da esso provocata. A parità di dimensioni, come si potrà facilmente capire, insediamenti più concentrati danno minori effetti di frammentazione.

Definizione di aree a ridotta sensibilità ecologico ambientale all'inserimento di infrastrutture lineari

Predisposizione di indici sintetici riferiti ai fattori di sensibilità e frammentazione territoriale

Una volta implementata la banca dati iniziale è possibile procedere all'analisi e valutazione delle componenti ambientali e paesaggistiche con riferimento alle quattro chiavi tematiche sopraindicate: componente ecologica, morfologico-strutturale, socio culturale e della frammentazione territoriale.
In questa fase vengono aggregate le informazioni iniziali in quattro indici sintetici (sensibilità ecologica, sensibilità morfologico strutturale, sensibilità socio-culturale, frammentazione generata dagli insediamenti) che permettono di migliorare l'interpretazione della variabilità spaziale dei livelli tematici, di facilitarne il loro confronto e successivamente di aggregare le informazioni in base a metodologie di analisi multicriteriale (AHP – Analytical Hierarchy Process- Saaty, 1997) al fine di ottenere una valutazione complessiva dell'idoneità del territorio all'inserimento di una nuova infrastruttura.
Gli indici vengono calcolati a partire da dati di tipo statistico e da dati cartografici la cui variabilità è stata ricondotta ad una scala tra 0 e 5, dove lo zero rappresenta il più basso livello di sensibilità o frammentazione e 5 il più alto. Tale procedura ha permesso di standardizzare tutti i fattori considerati su una scala comune e continua di idoneità e di facilitare così il confronto tra informazioni di carattere diverso.
In dettaglio gli indici messi a punto sono:

Indice di sensibilità ecologica (ISe): stima la risposta dei sistemi ecologici all'inserimento di nuove infrastrutture viarie, considerando sia la capacità di riequilibrio degli ecosistemi a fronte di una modificazione di origine antropica, sia il pregio naturalistico.

L'ISe è dato dalla somma dell' Indice di Biopotenzialità (Btc) e dell'Indice di Biodiversità (Biodiversità delle specie minacciate ricavata dalla cartografia della Rete Ecologica Nazionale e ponderata dalla presenza di aree naturali protette). L'Indice Btc stima lo stato del metabolismo energetico dei sistemi vegetali in relazione alla risposta degli stessi alle pressioni antropiche; l'Indice di Biodiversità misura il numero di specie presenti in una determinata area e conseguentemente stima il pregio naturalistico della stessa.
Nella Scheda 1 in allegato si riporta nel dettaglio la procedura per il calcolo dell'Indice ISe.

Indice di sensibilità morfologico strutturale (ISms): stima la risposta del territorio all'inserimento di nuovi tracciati viari valutando sia la capacità dei versanti di sostenere l'opera, sia il potenziale impatto della stessa a carico di aree strutturalmente già compromesse. L'ISms è determinato ponendo in relazione le componenti territoriali di carattere fisico che interagiscono con la progettazione di un nuovo tracciato stradale. La determinazione delle classi di acclività, successivamente analizzate congiuntamente al grado di propensione al dissesto, ha permesso di stimare la sensibilità del territorio all'inserimento di nuove infrastrutture dal punto di vista geomorfologico e nel contempo di fornire una prima generale indicazione di opportunità tecnica all'inserimento del progetto. Nella scheda 2 (V. in allegato) si riporta nel dettaglio la procedura per il calcolo dell'indicatore.

Indice di sensibilità socio-culturale (ISsc): stima la sensibilità del territorio all'inserimento di nuove infrastrutture di comunicazione prendendo in considerazione sia la domanda di collegamento (in funzione della distribuzione dei centri abitati e della loro ampiezza), sia la tutela delle risorse storico culturali. L'ISsc è determinato ponendo in relazione gli aspetti legati alla densità di popolazione e alla presenza di valori storico-architettonici sul territorio, valutando da un lato la propensione di aree ad alta densità abitativa ad essere collegate da strade, dall'altro il potenziale impatto di nuove infrastrutture all'interno di aree a rilevante concentrazione di emergenze storico architettoniche (Nella scheda 3, in allegato, si riporta nel dettaglio la procedura per il calcolo dell'indicatore).

Indici di frammentazione (Ifim, Ifum): L'introduzione di indici, che stimano il grado di frammentazione del territorio provocato dalla presenza della rete viaria e dallo sviluppo della maglia insediativa, permette di considerare come ulteriore fattore di analisi la frammentazione e l'isolamento degli ambiti naturali e paesistici provocata dallo sviluppo del tessuto insediativi e del sistema della mobilità. Tali indici vengono determinati attraverso il calcolo dell' "Indice di frammentazione da infrastrutture di mobilità" Ifim e dell' "Indice di frammentazione da urbanizzazione" Ifum, che nascono da un adattamento alle caratteristiche della ricerca degli omonimi IFI "Infrastructural Fragmentation Index" e UFI "Urban Fragmentation Index" (B. Romano, 2000).
L'IFI stima la frammentazione derivante dall'articolazione dello sviluppo infrastrutturale sul territorio prendendo in considerazione i differenti livelli di occlusività associati alle diverse tipologie di strade e la lunghezza dei tracciati. L'indicatore, pertanto, risulta tanto più elevato in valore tanto è più densa e occlusiva la maglia viaria (Romano B., 2004).

L'UFI quantifica il livello di frammentazione degli habitat indotto dallo sviluppo degli insediamenti urbani. In particolare questo indice permette di stimare l'effetto occlusivo sulla geografia degli habitat tenendo in considerazione la forma delle aree urbanizzate. Gli insediamenti caratterizzati da uno sviluppo lineare determinano un maggiore effetto di cesura nei confronti dei sistemi ecologici, pertanto all'aumentare della lunghezza e dell'area degli insediamenti corrisponderà un incremento del valore dell'indice in questione.
Gli indici di frammentazione, solitamente, vengono calcolati prendendo come riferimento delle unità areali di base (comuni, province, unità di paesaggio, etc.). Nel presente studio, al fine di quantificare localmente i livelli di frammentazione associati alle infrastrutture e alle aree urbanizzate, i due indici sono stati determinati con riferimento ad una maglia quadrata di 1 km di lato.
La procedura relativa al calcolo degli indici suddetti viene riportata in maniera dettagliata all'interno della scheda (V. Scheda 5 in allegato), riferita al calcolo dell' Indice di Sensibilità alla frammentazione ecologica (ISfe).

Valutazione della sensibilità territoriale e della sensibilità da frammentazione ecologica

La valutazione della sensibilità complessiva del territorio si sviluppa attraverso l'analisi integrata dei fattori individuati nella fase precedente. A tal fine si determinano due differenti indici sintetici ISt – Indice di Sensibilità territoriale e ISfe- Indice di Sensibilità alla frammentazione ecologica.

ISt – Indice di Sensibilità territoriale

Gli indici territoriali riferiti alla sensibilità ecologico-ambientale, morfologico-strutturale e socio-culturale sono stati aggregati con l'obiettivo di ponderare e sintetizzare le valutazioni intermedie all'interno di un unico indice in grado di esprimere la sensibilità del territorio nei confronti dell'inserimento di una nuova infrastruttura viaria. L'aggregazione dei tre livelli informativi permette di fornire una lettura complessiva delle componenti che influiscono sulla sensibilità del territorio, valutando l'importanza assunta da ciascun criterio considerato nella definizione di tale indice.
La costruzione dell'ISt avviene tramite l'organizzazione di un opportuno modello di lavoro, implementato in ambiente GIS, utilizzabile ai fini di un'analisi integrata delle informazioni disponibili secondo le procedure proprie delle tecniche di analisi gerarchica. In questa fase viene messa a punto una matrice di confronto a coppie con l'obiettivo di definire l'importanza relativa dei tre indici intermedi nella definizione dei valori complessivi di sensibilità territoriale. Nella compilazione della matrice, in base alla metodologia messa a punto, si è scelto di attribuire un' importanza preponderante all'aspetto ecologico e in maniera progressivamente decrescente, nell'ordine, agli aspetti ambientale e socio-culturale. La procedura relativa al calcolo dell'indice in questione viene riportata nella Scheda 4 (V. in allegato).
I pesi scaturiti dal confronto a coppie vengono utilizzati all'interno di una Combinazione Lineare Pesata che prevede la combinazione dei fattori attraverso la sommatoria ponderata degli indici intermedi. In tal modo è possibile ottenere un indice continuo della sensibilità territoriale riferito all'area di studio. La variabilità dell'indice in questione, in relazione ai pesi attribuiti all'interno del modello multicriteri, rispecchia

in misura maggiore la sensibilità ecologica e la sensibilità morfologico-strutturale del territorio.

ISfe - Indice di Sensibilità alla frammentazione ecologica
L'ISfe fornisce una lettura della sensibilità del territorio alla frammentazione derivante dagli effetti combinati prodotti dalle infrastrutture viarie e dagli spazi urbanizzati. Per il calcolo dell'ISfe è necessario procedere al calcolo di un indice intermedio, denominato Indice aggregato di frammentazione (Iaf), che nasce dall'integrazione dei due indici di frammentazione da urbanizzazione lineare e da infrastrutture viarie (V. Scheda 5 in allegato). Lo Iaf consente di valutare il livello di frammentazione del territorio provocato dal complesso degli elementi legati alla maglia insediativa. In tal modo risulta possibile stimare l'influenza della struttura insediativa sul grado di permeabilità ambientale quale oggetto di potenziale occlusività ecologica. Tale indice permette così di valutare l'impatto delle attività umane sulla geografia degli ecosistemi provocato dalla presenza di barriere (strade, aree urbanizzate) che costituiscono un ostacolo al libero movimento della fauna sul territorio e causano disturbo attraverso l'illuminazione e i rumori ai popolamenti faunistici presenti.
L'ISfe, direttamente derivato dallo Iaf esprime la sensibilità ecologica in funzione del livello di frammentazione esistente. Il particolare orientamento della ricerca, teso ad evidenziare la sensibilità-suscettibilità del territorio all'inserimento di infrastrutture di comunicazione, ha influenzato il criterio di attribuzione dei valori di sensibilità alla frammentazione. In questo caso si è deciso di privilegiare la tutela delle aree a maggiore valore ecologico attribuendo maggiore sensibilità, e quindi minore propensione all'inserimento di nuove infrastrutture, a quelle aree in cui risulta minore o nullo il livello di frammentazione provocato dalle infrastrutture e viceversa.

Valutazione della sensibilità globale all'inserimento delle infrastrutture lineari
Questa fase è finalizzata alla valutazione combinata degli indici intermedi riferiti alla sensibilità del territorio e alla frammentazione prodotta dagli insediamenti. L'aggregazione delle informazioni spaziali relative agli indici calcolati nella fase precedente permette di costruire un'indice finale sintetico di Sensibilità globale (ISg) per stimare la sensibilità complessiva del territorio all'inserimento di nuove opere di infrastrutturazione viaria considerando, in maniera interrelata, gli aspetti di carattere ecologico, morfologico-strutturale, socio-culturale e il potenziale impatto connesso alla frammentazione del paesaggio.
L'ISg viene calcolato tramite la ponderazione dei valori relativi alla frammentazione del territorio e della sensibilità territoriale. I criteri scelti per le assegnazioni sono ripartiti nella Scheda n° 6 in allegato.
Attraverso l'ISg è possibile quindi determinare, per ciascuna area analizzata, l'opportunità all'inserimento di nuovi progetti infrastrutturali attribuendo il maggiore grado di idoneità alle aree a più bassa frammentazione e più ridotta qualità-sensibilità territoriale. L'integrazione ponderata delle due chiavi di lettura permette di classificare le aree in funzione del livello di idoneità all'inserimento dell'infrastruttura viaria con riferimento ai fattori considerati.

Identificazione di corridoi a ridotto impatto ecologico nei quali è possibile inserire ipotetici tracciati di progetto

Questa fase è orientata alla identificazione della fascia di territorio caratterizzata da idoneità ottimale all'inserimento dell'infrastruttura viaria in esame e quindi da una minore sensibilità globale. Per il conseguimento di tale obiettivo vengono impiegate tecniche di analisi spaziale di tipo *Cost Distance Modelling e Analytic Minimum Impedence Surface (AMIS).* Tali tecniche permettono di valutare i gradienti di idoneità territoriale associati ai percorsi che uniscono le località poste agli estremi dei tracciati viari oggetto di studio.

Ogni percorso attraversa aree a differente sensibilità, l'obiettivo, pertanto, è quello di individuare quel percorso che in termini cumulativi interessa le aree a minore sensibilità globale. A tal fine è necessario considerare che lo sviluppo del tracciato è condizionato dall'impedenza associata alla sensibilità del territorio espressa dall'ISG (a maggiore sensibilità globale corrisponde, ovviamente, maggiore impedenza). Pertanto per il collegamento delle due località non può essere utilizzato il percorso geometricamente più corto e quindi la retta che unisce le due località, ma quel tracciato ideale caratterizzato da minore impedenza cumulativa e quindi minore sensibilità complessiva. Sfruttando la tecnologia GIS, applicando le apposite funzioni di *cost modeling,* è possibile tracciare tale percorso caratterizzato da minimo impatto sul territorio.

Dal punto di vista operativo è necessario procedere al calcolo delle *accumulative cost distances*[16] per le due località considerate impiegando il dataset dell'ISG che fornisce indicazioni sul livello di impedenza associato a ciascuna cella[17] appartenente all'area di studio e quindi può essere utilizzato come *cost surface.* A partire da tali informazioni è possibile individuare il tracciato a minima impedenza utilizzando una funzione di tipo *least cost path*[18] e il corridoio a minimo impatto sfruttando una funzione di tipo *least cost corridor*[19] che permette di determinare la superficie d'impedenza con riferimento alle due località considerate.

Nella procedura è possibile escludere a priori quelle aree nelle quali non è sostenibile l'attraversamento da parte dell'infrastruttura. Ad esempio, potrebbe essere opportuno impedire l'attraversamento da parte del tracciato delle aree a sensibilità più elevata, eliminando tali aree all'interno del dataset relativo all'ISG. Tali aree potrebbero ricadere all'interno del percorso calcolato mediante la procedura GIS dato che il *least cost path*, come già specificato, presenta un impatto minimo in termini cumulativi, non è escluso, quindi, che il tracciato ottimale possa attraversare, seppur per brevi tratti, anche aree a sensibilità elevata. In alcune situazioni potrebbe essere preferibile attraversare per un breve tratto un area a sensibilità media o elevata al fine di ridurre la lunghezza del tracciato, oppure si potrebbe decidere di escludere in maniera assoluta le aree con sensibilità superiore ad una certa soglia anche se tale scelta può comportare un certo allungamento del tracciato di progetto. Chiaramente, nelle varie situazioni, in funzione delle caratteristiche specifiche delle aree di studio e dei criteri di pianificazione adottati,

---

[16] Le funzioni di *cost distance* sono simili alle funzioni euclidee, ma invece di calcolare la distanza geometrica fra due celle (o punti), permettono di determinare la distanza pesata più corta (o *travel cost*) da ogni cella alla cella più vicina nel set di celle di partenza in funzione di una *cost surface*. Le funzioni di distanza pesata non utilizzano unità geografiche, ma unità di costo rappresentate in questo caso dalle unità di ISG.

[17] In tali procedure vengono impiegati dataset di tipo raster costituiti da matrici di celle.

[18] Tale funzione permette di calcolare il percorso "a costo minimo" in termini di ISG da una o più origini a una o più destinazioni.

[19] Tale funzione effettua la somma delle *cost distance* riferite a due località di origine. Tale funzione identifica per ciascuna cella il percorso a costo minimo in termini di ISG che attraversa la cella stessa.

è necessario effettuare degli aggiustamenti alla metodologia di *cost modelling* e, di conseguenza, introdurre delle modifiche all'interno della relativa procedura GIS.
Nello specifico dei casi studio si è scelto di far passare il percorso a una distanza maggiore di 250 m dai centri abitati poiché, anche se le aree interessate dall'edificato presentano una bassa sensibilità globale a causa dell'alta frammentazione dovuta agli insediamenti, risulta ovviamente impensabile ipotizzare un attraversamento di queste aree da parte di una infrastruttura lineare a scorrimento veloce.
Il percorso a minima impedenza individuato attraverso le procedure descritte può essere considerato come il tracciato a più alta idoneità che definisce la collocazione ideale della nuova infrastruttura viaria. Ovviamente, l'accuratezza con cui viene collocato tale tracciato è strettamente legata alla scala, alla natura e al livello qualitativo dei dati impiegati oltre che alla completezza delle informazioni introdotte nel percorso di valutazione.
Al fine di fornire una base di riferimento per le successive fasi di progettazione, risulta importante definire un corridoio più ampio che possa consentire l'identificazione di eventuali varianti rispetto al tracciato ideale, mantenendo comunque un ridotto impatto sul territorio in relazione ai fattori considerati nel modello di valutazione. A partire dal dataset *least cost corridor,* attraverso semplici riclassificazioni, è possibile individuare fasce di ampiezza differenziata in funzione di livelli di impatto (e quindi di impedenza) crescenti. Tali fasce, pertanto, vengono costruite non in termini geometrici, ma in funzione di differenti gradienti di sensibilità globale.
Nell'ambito della ricerca il corridoio a minima sensibilità globale è determinato secondo tre fasce caratterizzate da differenti livelli di idoneità definiti in funzione di percentuali crescenti rispetto all'impatto minimo associato al percorso ideale (Tabella 1). I parametri utilizzati nello studio sono frutto di un esame bibliografico e di differenti test volti a verificare l'ampiezza delle fasce in funzione delle percentuali prescelte. Ovviamente, in funzione della variabilità locale dell'indice di sensibilità, è possibile modulare le soglie utilizzate e, di conseguenza, l'ampiezza delle fasce di idoneità.

Livello di idoneità	**Range di valori** ***(Im = Impatto minimo)***
ALTA	< (Im + 0.25%)
MEDIA	da (Im + 0.25%) a (Im + 0.5%)
BASSA	da (Im + 0.5%) a (Im + 1%)

Tabella 1 Livelli di idoneità e range di valori riferiti alle tre fasce di idoneità

La fascia ad alta idoneità rappresenta il contesto più adatto all'inserimento di eventuali varianti dell'asse viario in esame rispetto al percorso a minimo impatto. In tale ambito si rileva una condizione di bassa sensibilità globale alla realizzazione dell'infrastruttura considerata. Le fasce ad idoneità media e bassa sono contraddistinte da livelli di sensibilità maggiori, ma comunque contenuti. All'interno di tali zone potrebbero essere collocate limitate porzioni del tracciato viario, ma con opportune misure volte alla individuazione delle eventuali criticità presenti e alla mitigazione degli impatti sulle componenti ambientali e paesaggistiche determinati dall'infrastruttura.
La disponibilità dell'ISG e del dataset relativo al corridoio e le relative fasce di idoneità rende possibile l'attuazione di analisi e valutazioni incrociate, attuabile mediante

overlay in ambiente GIS, con l'obiettivo di quantificare il livello di impatto associato a varie alternative progettuali. Tali valutazioni consentono di individuare il tracciato che permette di ottimizzare l'inserimento nel contesto territoriale di riferimento.
Il percorso a minimo impatto e le fasce di idoneità forniscono un'indicazione molto efficace in merito al posizionamento dell'opera nel territorio e rappresentano un ottimo punto di partenza per le successive fasi di progettazione e analisi ambientale-paesaggistica di dettaglio. In queste fasi, ovviamente, dovranno essere considerati ulteriori elementi di valutazione legati ai contesti particolareggiati in cui l'opera si dovrà collocare al fine di arrivare all'individuazione puntuale del tracciato viario definitivo.

4. Validazione della metodologia

Il lavoro definito nella parte metodologica è stato applicato a due differenti contesti di studio, attraverso i quali sono stati validati i presupposti della ricerca. Tali casi applicativi costituiscono un ulteriore spunto per la comprensione delle varie fasi operative dell'analisi.
Nel primo esempio si è scelto di confrontare la valutazione del corridoio di fattibilità con il caso di una infrastruttura stradale il cui tracciato era già stato definito in fase di progetto, nel secondo si è provveduto alla individuazione della migliore collocazione di un potenziale tracciato viario indipendentemente dalla presenza di soluzioni operative già definite.

Caso 1: "Pedemontana Fabriano – Muccia" Progetto Quadrilatero di penetrazione interna Umbria-Marche

In considerazione dei particolari obiettivi della ricerca si è scelto di analizzare un'area di 1573 km² circa, inserita a cavallo delle regioni Marche ed Umbria con una netta predominanza dell'ambito marchigiano. L'area di studio comprende i perimetri amministrativi di 25 comuni appartenenti a 3 diverse province, la provincia di Macerata, la provincia di Ancona e la provincia di Perugia.
La scelta dell'ambito di studio è stata fatta in ragione dell'appartenenza dei comuni considerati alla sfera di influenza del progetto stradale denominato Pedemontana Fabriano-Muccia. Tale tracciato viario, che ha una lunghezza di 34,28 km ed unisce i due centri omonimi, si inserisce in un più esteso piano di nuova infrastrutturazione denominato "Quadrilatero di Penetrazione Interna Marche-Umbria". Il Quadrilatero Marche-Umbria prevede la realizzazione, nell'arco di tempo 2006-2009, di un serie di interventi stradali allo scopo di migliorare il collegamento del versante tirrenico e la A14 Adriatica con l'entroterra umbro-marchigiano e con l'asse stradale longitudinale costituito dalla superstrada E45. Il tratto della Pedemontana Fabriano (AN) – Muccia (MC), su cui si è focalizzata l'attenzione, costituisce l'asse intermedio trasversale che dovrà unire le due nuove direttrici di collegamento.

Quadro di riferimento

Nella prima fase della ricerca si è proceduto all'identificazione dei fattori da considerare per effettuare una prima lettura del territorio oggetto di analisi. In tal modo è stato possibile definire il quadro degli ambiti geomorfologici, naturali ed antropici dell'area di studio.

Ambito ecologico-ambientale

Uso e Copertura del suolo:
L'area oggetto di analisi (V. Tavola 1) è caratterizzata da due fasce collinari e montane che si sviluppano in parallelo, longitudinalmente in direzione nord-sud. Su tali fasce si individuano la quasi totalità delle zone boscate presenti nell'area in esame. Le porzioni

sommitali delle stesse formazioni montuose e collinari sono popolate da praterie stabili o vegetazione arbustiva e/o erbacea, mentre nelle aree meno acclivi sono presenti aree agricole eterogenee che si estendono fino alle quote più basse. Le aree basso collinari e di valle centrali e orientali sono caratterizzate prevalentemente da seminativi e da altri sistemi colturali eterogenei. Nelle stesse aree si sviluppano le aree urbanizzate più importanti (Fabriano, Cerreto d'Esi, Matelica, Castel Raimondo, Camerino).

Parchi nazionali:
All'interno dell'area di studio (V. Tavola 2) è ricompresso parte del Parco Nazionale dei Monti Sibillini (per 7.955 ha), ne fanno parte i Comuni di Cessapalombo, Fiastra, Pievebovigliana e Pieve Torina. Collocato in pieno versante appenninico vanta un patrimonio naturalistico molto importante tra cui spiccano le 1800 specie floristiche, presenti (ricompresse su tutto il perimetro del area protetta), 50 specie di mammiferi, 150 specie di uccelli e 20 specie di rettili e invertebrati. Dal punto di vista storico culturale il parco dispone di un altrettanto importante patrimonio fatto di entità architettoniche di rilievo armonicamente inserite in un contesto paesaggistico di impronta fortemente naturale insieme ad una rete di piccoli centri che sono diretta testimonianza del secolare rapporto dell'uomo con la montagna.

Sic-Zps:
La particolare natura dei paesaggi presenti nel contesto analizzato (le aree montane e alto collinari ad alta naturalità hanno una spiccata dominanza) fa si che vi sia una importante concentrazione delle aree di protezione inquadrate all'interno del sistema Rete Natura 2000. Tali ambiti (22 SIC e una ZPS) sono distribuiti in maniera pressoché omogenea sulle due fasce montano-collinari che caratterizzano l'area. La grande concentrazione di questo genere di zone protette testimonia ulteriormente l'importanza ecologica di tali contesti in relazione alla presenza di habitat importanti per la conservazione di specie di interesse comunitario.

Biodiversità delle specie minacciate:
Nell' ambito analizzato si stima possano essere presenti zone con un livello di biodiversità, per le specie di rilevante interesse conservazionistico, che raggiunge le 39 unità (V. Tavola 2). I livelli di maggiore concentrazione si rilevano lungo le aree collinari e montane per calare in maniera piuttosto brusca lungo le aree di pianura che presentano un più elevato livello di antropizzazione.

Ambito morfologico-strutturale

Morfologia dell'area:
Come già detto in precedenza l'ambito analizzato presenta, dal punto di vista della morfologia, una connotazione prettamente montana ed alto collinare (V. Tavola 3). Tale zona si colloca infatti in piena dorsale appeninica e comprende, nella porzione occidentale, una catena montuosa principale, che si sviluppa longitudinalmente all'area di studio, e nella porzione più orientale, in maniera parallela alla prima, una fascia alto collinare. Tali sistemi orografici sono separati da una serie di valli, più o meno ampie, che interrompono la continuità dei versanti, fino a che questi non si ricongiungono a formare una sorta di grande "u".

Geolitologia:
Da un punto di vista geologico, l'area è caratterizzata dalla presenza, in affioramento, delle rocce della sequenza stratigrafica Umbro-Marchigiana. In particolare, le zone più rilevate topograficamente sono in genere costituite da rocce carbonatiche di ambiente di piattaforma e di bacino di età compresa tra il Giurassico inferiore (~200 MA) ed il Paleogene superiore (~23 Ma). Esse sono coinvolte in deformazioni compressive che hanno generato della anticlinali che costituiscono i rilievi dell'area i quali sono arcuati ed allungati in direzione SSE-NNW. Questi rilievi sono profondamente incisi in senso WSW-ENE dai fiumi che sfociano in Adriatico. Le aree topograficamente meno rilevate sono invece in gran parte costituite da litologie flyschoidi deposte in ambiente di avanfossa e formate da alternanze di marne ed arenarie di eta' Miocene medio-superiore.

La fisiografia dell'area è guidata in gran parte dell'effetto combinato di litologia e deformazione. I rilievi sono formati principalmente da rocce carbonatiche che sono state piegate durante l'orogenesi appenninica portandole alle quote maggiori. Tali litologie, essendo anche le meno erodibili, hanno fatto sì che i rilievi che esse formano si siano mantenuti alle quote più alte.
Le aree meno rilevate (ad es. tra Camerino e Fabriano) sono impostate su una grande sinclinale compresa tra i rilievi occidentali (Serravalle di Chienti) e quelli orientali. Da un punto di vista litologico, queste aree sono anche caratterizzate dalla presenza prevalente di marne ed arenarie che essendo più erodibili, contribuiscono a mantenere l'aspetto più dolce del paesaggio.

Ambito socio-culturale

Aree insediative:
Una prima lettura della cartografia concernente lo sviluppo del sistema insediativi (V. Tavola 4) evidenzia la diffusione dei centri abitati, distribuiti con una certa uniformità su tutta l'area (ad eccezione delle aree a quote più elevate). Altro dato, che in questo caso emerge dal confronto con la carta della morfologia, è il rapporto inversamente proporzionale tra la dimensione degli abitati e la variazione delle quote. I maggiori centri abitati (Fabriano, San Severino Marche, Camerino, Matelica) sono infatti distribuiti (ad eccezione di Camerino che ha una collocazione basso collinare) lungo le aree di pianura. Quando il paesaggio diventa collinare-alto collinare l'edificato riduce le proprie dimensioni e si fa più sparso, modellandosi in rapporto alle difficoltà dell'orografia.

Ambito fFrammentazione territoriale

Infrastrutture viarie:
In merito al sistema infrastrutturale viario (V. Tavola 4) presente nell'area, esso è caratterizzato principalmente da due strade che attraversano l'area trasversalmente, a nord la SS 76, e a sud la SS 77 (il nucleo centrale del progetto quadrilatero si basa appunto sul raddoppio delle loro carreggiate). Al centro dell'area si evidenzia la SS 361

che da Castel Raimondo si dirige verso est. Si rileva, inoltre, un asse viario centrale longitudinale (SS 256) che attraversando i centri principali dell'area pedemontana centrale, mette in comunicazione le tre strade suddette.
La particolare organizzazione del sistema insediativo fatto di piccoli centri uniformemente distribuiti su quasi tutto il territorio ha portato allo sviluppo di una rete, anche piuttosto fitta, di strade di collegamento locale che costituisce il principale fattore di frammentazione dell' ambito di analisi.
La carenza di strade a scorrimento veloce ha incidenza non tanto sul sistema delle comunicazioni interne, ma fa riferimento ad una domanda di traffico di tipo extra regionale. L'abito analizzato è infatti posto in maniera centrale e strategica rispetto ai collegamenti che uniscono l'Umbria e la Toscana alla costa adriatica.

Insediamenti:
Come precedentemente detto la particolare conformazione della struttura insediativa non sembra determinare dei marcati effetti di frammentazione, anche in riferimento ai valori di tipo ecologico. La maggior parte dei centri abitati ha dimensioni piuttosto ridotte e la loro collocazione sul territorio non è tale da poter generare delle linee di continuità. Maggiore attenzione va posta verso i centri principali (Fabriano, San Severino Marche, Matelica, Camerino) anche in rapporto con la viabilità. La loro collocazione in zone prevalentemente di valle a minor pregio naturalistico fa sì che non si determinino impatti a carico dei sistemi ecologici di maggiore rilievo.

Determinazione degli indici di sensibilità ecologica, morfologico-strutturale, socio-culturale e di frammentazione da infrastrutture :

I cinque indici definiti nella parte metodologica generale sono stati rappresentati su altrettante cartografie di sintesi (V. cartografia Tavole 1 - 28 in allegato) relative alla valutazione del territorio in funzione della sensibilità riferita agli ambiti ecologico-ambientale, morfologico-strutturale, socio-culturale e al suo grado di frammentazione.

Carta della sensibilità ecologica
Rappresenta attraverso diverse gradazioni di colore la valenza ecologica del territorio in esame (V. Tavola 5). La carta è realizzata attraverso l'interpretazione e la valutazione degli habitat e delle tipologie di uso e copertura del suolo ponendo particolare attenzione alla presenza di aree naturali protette.
Dalla lettura della carta si può evidenziare come le aree a maggiore sensibilità ecologica siano concentrate lungo le fasce collinari e montane collocate longitudinalmente all'interno dell' area di studio. La particolare morfologia di questi ambiti ha favorito la conservazione dei valori di tipo ecologico legati alla presenza di aree forestali, di praterie sommitali e di altri usi del suolo caratterizzati dalla presenza di vegetazione naturale.
Il progressivo passaggio a quote più ridotte comporta una riduzione del grado di sensibilità ecologica, dovuta alla maggiore antropizzazione propria dei contesti di pianura. Lo sviluppo del sistema insediativo e la diffusa presenza di aree agricole di tipo intensivo contribuisce, infatti, alla diminuzione del pregio naturale di tali aree.

Carta della sensibilità morfologico-strutturale
Rappresenta attraverso diverse gradazioni di colore le criticità ambientali del territorio in esame, ponendo in rilievo le alcuni fattori limitanti la realizzazione di infrastrutture viarie (pendenza, propensione al dissesto) (V. Tavola 6).
Anche in questo caso è possibile osservare come le aree a diversa sensibilità morfologico strutturale all'inserimento di nuove infrastrutture viarie si distribuiscano in relazione alle condizioni clivometriche del territorio, assumendo valori maggiori in ambiti caratterizzati da pendenze più pronunciate, e progressivamente più ridotti al passaggio dai contesti montani a quelli di pianura.
I picchi di sensibilità vengono raggiunti quando si verifica la coincidenza di aree caratterizzate da maggiore pendenza ed elevata propensione al dissesto.

Carta della sensibilità socio-culturale
Evidenzia il grado di presenza antropica sul territorio (V. Tavola 7). La carta è realizzata valutando la presenza della maglia insediativa, della rete infrastrutturale di mobilità, la qualità degli elementi storico-culturali presenti nel territorio (centri storici, emergenze storico architettoniche) e il suo grado di antropizzazione (distribuzione dei centri urbani per classi demografiche).
Dalla lettura della carta si evince come le aree a più basso valore di sensibilità socio-culturale all'inserimento di infrastrutture stradali e quindi a maggiore propensione al collegamento viario siano collocate negli ambiti a più elevato sviluppo insediativo, sia per quanto riguarda l'ampiezza dei singoli agglomerati urbani, sia per quanto concerne la distribuzione sul territorio dei centri abitati. I picchi di maggiore sensibilità si verificano alla coincidenza tra situazioni di minore concetrazione insediativa e la presenza sul territorio di emergenze storico architettoniche.

Carte della frammentazione territoriale
Rappresentano i diversi gradi di frammentazione del territorio provocati dalla presenza antropica. Le due carte sono state realizzate individuando le componenti del territorio che possono essere considerate potenziali fonti di frammentazione (infrastrutture viarie, aree urbane) e valutandone il loro grado di barriera.

Ifim (Indice di frammentazione da infrastrutture della mobilità):
La cartografia relativa all'indice di frammentazione da infrastrutture di mobilità evidenzia i livelli di frammentazione determinati dalle strade (V. Tavola 8). Ovviamente le aree più frammentate da questo punto di vista sono quelle caratterizzate da una densità di infrastrutture viarie maggiore e quelle attraversate da strade con livello di occlusività più pronunciato. Tali aree si collocano prevalentemente all'interno della fascia pedemontana e trasversalmente alla stessa fascia in corrispondenza degli assi stradali costituiti dalla SS 77 a sud e la SS 76 a nord.

Ufim (Indice di frammentazione da urbanizzazione):
Per quanto riguarda l'indice riferito alla frammentazione indotta dall'urbanizzazione a sviluppo lineare, esso assume valori elevati soprattutto in corrispondenza dei centri urbani maggiori collocati nell'ambito pedemontano (Fabriano, Camerino, Castelraimondo, Matelica, etc) e nell'area del centro di San Severino Marche (V.

Tavola 9). Lo stesso indice assume valori minori in corrispondenza dei centri più piccoli collocati all'interno dell'area di studio.

Valutazione della sensibilità territoriale e della sensibilità da frammentazione complessiva

Dall' applicazione dei due indici all'area di studio derivano altrettante cartografie che danno una lettura complessiva del territorio in funzione del particolare punto di vista dell'analisi che ha introdotto dei criteri di prevalenza nella lettura dei diversi elementi di analisi.

Carta della sensibilità territoriale
Dalla lettura di tali risultati (V. Tavola 10) si evince come le aree a più alta sensibilità territoriale vengano individuate lungo le fasce alto-collinari e montane che si sviluppano longitudinalmente all'area di studio, mentre nelle aree basso collinari e di pianura il grado di sensibilità del territorio decresce e si attesta attorno a valori medi. I livelli medio-bassi e bassi di sensibilità si rinvengono nelle aree di valle centrali e nella porzione orientale dell'area di studio. La variabilità dell'indice in questione, in relazione ai pesi attribuiti all'interno del modello multicriteri, rispecchia in misura maggiore la sensibilità ecologica e la sensibilità morfologico-strutturale del territorio.

Carta della sensibilità da frammentazione ecologica
La cartografia (V. Tavola 11) mette chiaramente in evidenza la variabilità dell'Indice di Sensibilità alla frammentazione all'interno dell'area di studio. Dal confronto con le cartografie precedenti riferite alla frammentazione territoriale, appare evidente come tale indice sia il prodotto dell'integrazione dei due indici intermedi già descritti. I livelli di frammentazione maggiori e quindi a minore sensibilità all'inserimento di infrastrutture, infatti, si rinvengono in corrispondenza degli assi viari principali e dei centri più grandi e con una forma più allungata. Al contrario i livelli di sensibilità maggiori si osservano in corrispondenza delle aree meno popolate e quelle in cui la densità delle infrastrutture viarie risulta minore.

Valutazione della sensibilità globale all'inserimento

La cartografia relativa all'Isg (V. Tavola 12) evidenzia chiaramente l'elevata sensibilità globale delle formazioni montuose e collinari che si sviluppano longitudinalmente all'area di studio. In queste aree l'elevata sensibilità ecologica e morfologico-strutturale determinano condizioni di bassa idoneità all'inserimento delle infrastrutture viarie. Localmente, tuttavia, esistono strisce di territorio, localizzate all'interno delle valli appeniniche, caratterizzate da media sensibilità globale. Nella zona pedemontana centrale e in quella orientale il livello di sensibilità globale si attesta prevalentemente entro valori medio-bassi.

Individuazione del corridoio a bassa sensibilità globale

Come già evidenziato nella parte metodologica questa fase è orientata all'individuazione di un corridoio caratterizzato da una maggiore idoneità all'inserimento dell'infrastruttura viaria in esame e quindi da una minore sensibilità ecologica, morfologico-strutturale e socio-culturale.
Con riferimento alle due località poste agli estremi del tracciato di progetto sono state costruite le *accumulative cost distance* impiegando il dataset relativo all'ISG come *cost surface*. Tali superfici hanno permesso di quantificare i gradienti di impedenza in termini di ISG misurati a partire dalle due località. Sfruttando tali informazioni è stato possibile calcolare il percorso a minima impedenza (*least cost path)* (V. Tavola 13). È possibile osservare, secondo quanto già evidenziato, come tale percorso attraversi aree a ridotta sensibilità globale. Come già accennato, si è scelto di far passare il percorso a una distanza maggiore di 250 m dai centri abitati, ma non è stato necessario escludere le aree a sensibilità maggiore poco rappresentate nella porzione pedemontana dell'area di studio.
Le due superfici relative alle *accumulative cost distance* sono state impiegate per la costruzione del corridoio a minimo impatto (*least cost corridor*), quest'ultimo è stato poi utilizzato per la definizione delle fasce di idoneità secondo la procedura indicata nella metodologia di lavoro (V. Tavola 14).
Al fine di caratterizzare le tre fasce di idoneità è stata effettuata un'analisi incrociata delle stesse con i valori assunti dall'indice di sensibilità globale (Tabella 2). Dall'esame della tabella si rileva che al diminuire dell'idoneità alla collocazione dell'infrastruttura aumenta progressivamente la percentuale di superficie occupata dalle classi a sensibilità globale maggiore.

Livello di idoneità	Classi di sensibilità globale					
	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA	TOTALE
ALTA	5.8	385.0	3024.8	48.3	0.0	3463.8
MEDIA	1.0	140.3	1573.0	85.3	0.0	1799.5
BASSA	6.0	111.0	1704.0	159.0	0.0	1980.0
Totale	**12.8**	**636.3**	**6301.8**	**292.5**	**0.0**	**7243.3**

Tabella 2 Caratterizzazione dei tre ambiti territoriali in funzione delle classi di sensibilità globale

Come anche confermato dalla tabella precedente, nell'area pedemontana esiste una netta preponderanza della classe a sensibilità media (87% circa del corridoio). Tale aspetto condiziona notevolmente la forma allargata del corridoio soprattutto nella parte centrale. In ogni caso, in nessuna delle fasce si osservano zone con un'alta sensibilità globale.
Dal confronto con il corridoio individuato nello studio e il tracciato individuato nel progetto di area vasta del Quadrilatero emergono differenze sostanziali. Ovviamente non è questa la sede per entrare nel merito delle scelte effettuate in sede progettuale per la definizione del tracciato del tratto pedemontano che sicuramente è scaturito da valutazioni locali di dettaglio, mentre, come già evidenziato, il percorso a minimo impatto e le fasce di idoneità nascono dalla valutazione di informazioni a scala territoriale. Risulta comunque interessante rilevare alcuni aspetti significativi. In generale si può osservare che il tracciato ottimale presenta, in alcuni tratti, una tortuosità maggiore rispetto al tracciato di progetto, che però può essere ridotta con opportune

varianti da sviluppare entro la fascia ad idoneità elevata. Procedendo in direzione nord-sud, nei primi 4 Km circa, si evidenzia una ottima corrispondenza fra i due percorsi. Più a sud, invece, il tracciato di progetto si discosta progressivamente dal tracciato ideale attraversando aree a sensibilità più elevata rispetto a quelle individuate dalle fasce di idoneità. A sud di Matelica il tracciato di progetto, dopo aver incrociato il tracciato ideale, si sviluppa quasi completamente all'interno delle fasce di idoneità anche se in una zona a bassa idoneità. Probabilmente in questo tratto l'obiettivo primario dello sviluppo del tracciato di progetto è collegare i centri urbani principali dell'area (Camerino, Castel Raimondo, Matelica) mantenendosi ad una distanza limitata dagli stessi. L'alternativa individuata dallo studio, anche se si sviluppa ad una distanza maggiore dai suddetti centri, permette di collocare l'infrastruttura in un contesto caratterizzato da una minore sensibilità complessiva. Le fasce di idoneità, in questa particolare porzione di territorio, si allargano e si sfrangiano notevolmente a causa dell'omogeneità dei valori assunti dall'indice di sensibilità globale. In questo caso l'ampiezza di tali fasce permette di individuare più varianti rispetto al tracciato ideale che poi, ovviamente, dovranno essere valutate in relazione ad aspetti di natura più strettamente progettuale. Nell'ultima porzione fra Camerino e Muccia il tracciato di progetto ricalca maggiormente il percorso ideale anche se quest'ultimo appare più rettilineo. Anche in questo tratto, il percorso a minimo impatto e le fasce a differente idoneità forniscono indicazioni utili ai fini dell'ottimizzazione localizzativa del tracciato di progetto.

Caso 2: Individuazione di un corridoio a basso impatto ecologico per il collegamento dell' autostrada A3 (Salerno-Reggio Calabria) con l'area costiera occidentale della Calabria.

L'area oggetto di studio si identifica con la porzione nord-occidentale della provincia di Cosenza e comprende 17 comuni.
Come altre zone appenniniche, l'area presenta differenti problematiche di infrastrutturazione viaria e di organizzazione dei trasporti derivanti dalle particolari caratteristiche geomorfologiche. La catena montuosa dell'Orsomarso ha sempre rappresentato una vera e propria barriera alla realizzazione di collegamenti viari tra il litorale tirrenico e l'arteria autostradale A3. Se, da un lato, infatti, esiste un buon livello di collegamenti viari in direzione nord-sud, dall'altro, il sottosviluppo del sistema infrastrutturale trasversale determina forti limitazioni agli spostamenti in direzione est-ovest e quindi origina un rilevante isolamento del versante tirrenico. Tali problematiche hanno inevitabilmente influito in negativo anche sullo sviluppo socio-economico dell'area, che pone in evidenza la necessità di un potenziamento del sistema viario esistente.
In questo contesto diventa indispensabile poter disporre di una metodologia utile alla ottimizzazione localizzativa dei tracciati viari al fine di individuare i corridoi più idonei dal punto di vista ecologico, socio-culturale e morfologico-strutturale.

Quadro di riferimento

Come già effettuato nel precedente caso studio, in relazione allo schema metodologico proposto, si è proceduto all'identificazione dei fattori da considerare per effettuare una prima lettura delle componenti che caratterizzano l'ambito territoriale oggetto di analisi. In tal modo è stato possibile definire il quadro delle componenti geomorfologiche, naturali ed antropiche.

Ambito ecologico-ambientale

Uso e Copertura del suolo:
Dalla lettura dell'incidenza delle classi di uso/copertura del suolo (V. Tavola 15) si evidenzia l'elevato carattere di naturalità dell'area analizzata, con una netta predominanza delle superfici boscate che si rinvengono nelle aree collinari e montane più interne.
Il resto delle superfici è pressoché caratterizzato da vegetazione arbustiva e/o erbacea e da zone agricole eterogenee che si collocano prevalentemente nella parte più interna delle pianure prospicienti la costa e in corrispondenza delle porzioni meno acclivi delle zone collinari e montane dell'entroterra.
Particolare attenzione va posta verso le zone urbanizzate che, sebbene presenti in percentuale relativamente ridotta sul totale dell'area,emergono con particolare evidenza perché densamente concentrate lungo la fascia costiera.

Aree protette
Le aree protette di interesse naturalistico occupano complessivamente una superficie di 365 km² circa e rappresentano il 65% della superficie totale, ciò conferma l'elevato valore naturalistico-ambientale dell'ambito territoriale oggetto di studio.

Parchi nazionali:
L'area è occupata, per la maggior parte, dalla porzione occidentale del Parco Nazionale del Pollino che occupa una superficie di 266 km² circa, corrispondente al 47% dell'intera superficie dell'area di studio (V. Tavola 16).
La vegetazione presente all'interno del Parco si distingue per la grande ricchezza delle specie presenti che testimoniano la varietà e la vastità del territorio e le diverse condizioni climatiche che lo influenzano; alcune specie endemiche e la presenza di rare associazioni vegetali, rendono quest'area unica in tutto il mediterraneo.

Zps-Sic:
Le due Zone di Protezione Speciale della rete Europea Natura 2000 coprono quasi completamente le aree centrali non occupate dal Parco del Pollino e presentano un'estensione di 96 km² circa pari al 16% circa della superficie totale. I due Siti di Interesse Comunitario proposti (pSIC) si sovrappongono alle aree protette sopradescritte e presentano un'estensione di 60 km² circa pari al 10% circa dell'estensione totale dell'area.

Biodiversità delle specie minacciate:
Anche in questo caso, per una migliore caratterizzazione ecologica dell'area sono stati utilizzati i dati prodotti nell'ambito del progetto REN – Rete Ecologica Nazionale e, in particolare, la stima della distribuzione delle specie minacciate.

Le aree caratterizzate dalla presenza di un numero maggiore di specie minacciate, all'interno dell'area di studio, sono in netta prevalenza (V. Tavola 16). Esse si individuano quasi completamente all'interno delle aree protette presenti nell'area ad esclusione di alcune zone collocate sui versanti più occidentali. Le aree caratterizzate da una presenza minore di specie si rinvengono nelle più ampie zone antropizzate della costa e in alcune porzioni circoscritte dell'entroterra.

Ambito morfologico-strutturale

Morfologia dell'area:
I Monti dell'Orsomarso costituiscono l'ossatura orografica dell'area di studio, collegati, in un continuum geografico, con il massiccio del Pollino attraverso l'altopiano carsificato di Campotenese e le cime di Cozzo Pellegrino, monte Palanuda, la Montea (V. Tavola 17). Il complesso racchiude una straordinaria varietà di paesaggi contrapposta ad una relativamente semplice conformazione orografica. L'area appare solcata da vari corsi d'acqua in corrispondenza dei quali si aprono vallate più o meno ampie. Fra tutte si distingue la valle del fiume Leo che attraversa trasversalmente, da nord-est a sud-ovest, l'intera area oggetto di studio. Nella porzione occidentale le formazioni montuose degradano progressivamente fino alla costa tirrenica in corrispondenza della quale si osservano aree pianeggianti più o meno estese.

Ambito socio-culturale

Aree insediative:
Naturalmente sia lo sviluppo delle aree urbanizzate che la viabilità sono state fortemente condizionate dalle particolari caratteristiche morfologiche dell'area in esame. Di conseguenza si osserva una forte antropizzazione delle aree pianeggianti lungo la costa tirrenica in cui si rinvengono i centri maggiori di Praia a Mare e Scalea oltre ad altri centri minori (V. tavola 18). Nella fascia costiera si concentra il 51% circa degli abitanti per complessive 19.900 unità circa. Gli altri centri più importanti si rinvengono in posizione più interna nell'area nord-occidentale (Tortora e Aieta), nella parte sud-occidentale (Orsomarso, Verbicaro e Santa Maria del Cedro) nell'area centrale (Papasidero) e nella porzione più orientale (Laino Borgo e Mormanno).

Ambito della Frammentazione territoriale

Sistema infrastrutturale e insediativo
Come già anticipato, i centri urbani più popolati si rinvengono lungo la costa e risultano attraversati dalla SS 18 che rappresenta l'asse di collegamento più importante della fascia pianeggiante costiera. Un sistema di viabilità minore permette il collegamento con i centri più importanti della costa dei centri più piccoli più interni posizionati nell'area nord-occidentale (Tortora e Aieta) e nella parte sud-occidentale (Orsomarso, Verbicaro e Santa Maria del Cedro).
Nella porzione nord-orientale, invece, l'area è caratterizzata dall'attraversamento dell'autostrada A3 Salerno - Reggio Calabria e della SS19. Questa porzione di territorio

è collegata ai centri costieri dalla SS 504 che, seguendo un percorso piuttosto tortuoso, raggiunge dapprima il centro di Papasidero e poi quello di Santa Domenica Talao, per poi giungere in corrispondenza dell'area costiera in prossimità del centro abitato di Scalea.

Determinazione degli indici di sensibilità ecologica, morfologico-strutturale, socio-culturale e di frammentazione da infrastrutture

Carta della sensibilità ecologica
I risultati permettono di evidenziare il livello di sensibilità ecologica dell'area di studio nei confronti dell'inserimento di nuove infrastrutture viarie a partire da informazioni inerenti alla capacità di riequilibrio dei sistemi ecologici e alle presenze di importanza naturalistica ed ambientale. Nell'area calabra le classi di sensibilità ecologica alta e medio-alta risultano localizzate nella porzione centrale e sud-orientale dove si osserva la maggiore concentrazione dei siti della Rete Natura 2000 (V. Tavola 19).

Carta della sensibilità morfologico-strutturale
Tale cartografia, prodotta sulla base dei risultati ottenuti attraverso il calcolo dell' ISms, permette di quantificare la risposta del territorio all'inserimento di nuovi tracciati viari valutando sia la capacità dei versanti di ospitare l'opera, sia il potenziale impatto della stessa a carico di aree strutturalmente già compromesse. L'impiego del DTM per il calcolo della clivometria ha permesso di effettuare una valutazione molto dettagliata dell'indice in questione (V. Tavola 20). Ovviamente le classi a sensibilità maggiore (alta e medio-alta) si localizzano prevalentemente nelle aree più acclivi che risultano concentrate all'interno delle aree montane e alto-collinari. Queste classi occupano nell'insieme circa il 50% dell'area in esame. La classe di sensibilità media occupa una importante quota di superficie (27% circa) e appare distribuita in maniera piuttosto irregolare, principalmente in corrispondenza delle aree collinari. Le altre due classi si localizzano nelle aree più pianeggianti con una netta prevalenza nella fascia costiera di pianura.

Carta della sensibilità socio-culturale
I risultati derivanti dal calcolo dell' ISms per l'area di studio evidenziano la sensibilità del territorio all'inserimento di nuove infrastrutture stradali in funzione della domanda di collegamento (quantificata in relazione alla distribuzione dei centri abitati e della loro ampiezza) e dell'esigenza di tutela delle risorse storico-culturali.
Per l'area di studio calabra, nei tempi del progetto non è stato possibile reperire le informazioni relative alle presenze storico-culturali, pertanto nella determinazione dell'indice si è fatto riferimento esclusivamente ai dati relativi alla localizzazione e alla demografia dei centri abitati.
È evidente che la distribuzione delle classi relative all'ISsc è condizionata completamente dalla localizzazione dei centri abitati ai quali è associata una domanda di collegamento viario crescente in relazione alle caratteristiche demografiche degli stessi (V. Tavola 21).

Carte della frammentazione territoriale

Ifim (Indice di frammentazione da infrastrutture della mobilità)
Attraverso questo indice è stato possibile stimare la frammentazione derivante dall'articolazione dello sviluppo infrastrutturale sul territorio valutando i differenti livelli di occlusività associati alle diverse tipologie di strade e la lunghezza dei tracciati (V. Tavola 22). Si ricorda che tale indice è calcolato sulla base di una griglia con maglia quadrata con passo di 1 Km. L'area in esame presenta uno sviluppo delle infrastrutture viarie piuttosto contenuto, pertanto la maggior parte della superficie dell'area rientra nella classe con frammentazione nulla che interessa il 74% circa della superficie totale. I livelli di occlusività maggiore, invece, sono determinati dalle strade a quattro corsie (in questo caso l'A3) e da strade di livello inferiore che si sviluppano in maniera ravvicinata o con andamento tortuoso sullo stesso elemento della griglia e quindi determinano una maggiore frammentazione ambientale. Quest'ultima situazione si osserva in maniera particolare sulla fascia costiera. Le classi associate ai livelli di frammentazione bassa e medio-bassa sono le più rappresentate e si localizzano in genere dove esiste un attraversamento degli elementi della griglia da parte di un singolo tracciato viario.

Ufim (Indice di frammentazione da urbanizzazione)
L'indice ha permesso di quantificare il livello di frammentazione degli habitat determinato dallo sviluppo degli insediamenti urbani e stimare l'effetto occlusivo sulla geografia degli habitat tenendo in considerazione la forma delle aree urbanizzate (V. Tavola 23). Anche questo indice è calcolato sulla base di una griglia con maglia quadrata con passo di 1 Km. Ovviamente i valori positivi dell'indice si osservano in corrispondenza degli elementi interessati dagli insediamenti che coprono il 16% dell'area, mentre sul restante 88% si osserva una frammentazione nulla.
Gli elementi caratterizzati da frammentazione maggiore si localizzano in corrispondenza degli insediamenti più estesi e con sviluppo allungato che determinano i livelli di occlusività più elevati. Le altre classi di UFI si collocano nelle situazioni intermedie non ricomprese nelle classi precedenti.

Valutazione della sensibilità territoriale e della sensibilità da frammentazione complessiva

Carta della sensibilità territoriale
La valutazione della sensibilità territoriale scaturisce dall'analisi integrata degli indici di sensibilità sopradescritti. L'aggregazione dei tre livelli informativi ha permesso di fornire una lettura complessiva delle componenti che influiscono sulla sensibilità del territorio all'inserimento di infrastrutture viarie, valutando l'importanza assunta da ciascun criterio considerato nella definizione di tale indice.
Da una prima lettura della rappresentazione cartografica dell'ISt si evidenzia una sensibilità del territorio piuttosto elevata in relazione alla consistente incidenza delle classi di sensibilità da media ad alta (V. Tavola 24). In particolare la classe media si individua in un'area centrale e una sud-orientale caratterizzate da maggiore sensibilità ecologica. Al contrario, le classi medio-alta e media risultano distribuite in maniera

eterogenea. Le tre classi suddette, nell'insieme, coprono quasi completamente l'area di studio ad esclusione di una ampia zona localizzata in corrispondenza della bassa valle del Fiume Leo e di una stretta fascia costiera in posizione nord-occidentale.

Carta della sensibilità da frammentazione ecologica
L'ISfe fornisce una lettura della sensibilità del territorio alla frammentazione derivante dagli effetti combinati prodotti dalle infrastrutture viarie e dagli spazi urbanizzati Da una lettura della cartografia relativa all'ISfe per l'area di studio si nota chiaramente come la sensibilità più bassa si osservi in corrispondenza delle aree maggiormente urbanizzate o interessate da infrastrutture lineari con livello di occlusività elevato, mentre il livello di sensibilità aumenta nelle aree poco o per nulla frammentate (V. Tavola 25). Le aree a sensibilità più bassa si localizzano soprattutto in corrispondenza dell'autostrada A3 e della fascia urbanizzata lungo la costa, mentre le aree a sensibilità più alta sono predominanti e si rinvengono in tutti gli ambiti territoriali non interessati da livelli di urbanizzazione consistenti o da attraversamenti stradali importanti.

Valutazione della sensibilità globale all'inserimento

La sensibilità complessiva è stata valutata aggregando in maniera ponderata gli indici di sensibilità territoriale e di sensibilità alla frammentazione sopradescritti secondo quanto indicato nella parte dedicata alla metodologia. I livelli di Sensibilità globale (Sg) all'interno dell'area di studio si attestano quasi sempre su valori elevati (V. Tavola 26). Si può osservare infatti che le aree a sensibilità alta e medio-alta occupano la maggior parte del territorio. Le prime si localizzano nelle aree a maggior valore naturalistico, e quindi a maggiore sensibilità ecologica, e occupano il 59% circa della superficie, le altre interessano quasi completamente le zone collinari e montane dell'area in esame con un'estensione pari al 20% circa dell'area. Le aree a sensibilità media si individuano principalmente nelle zone basso collinari e lungo la fascia costiera con un estensione pari al 17% circa della superficie. Le altre classi si rinvengono in maniera sparsa all'interno o in prossimità delle aree a sensibilità media e nell'insieme occupano il 4% circa dell'area in esame.

Individuazione del corridoio a bassa sensibilità globale

Secondo quanto evidenziato nella parte introduttiva del caso studio l'obiettivo di questa parte del lavoro è procedere all'individuazione di un corridoio a bassa sensibilità globale per l'inserimento di un'infrastruttura di collegamento fra l'autostrada A1 e la SS 18 che si sviluppa sulla fascia costiera occidentale.
A differenza del caso studio precedente, nello specifico dell'area calabra, si è operato a prescindere da eventuali tracciati di progetto esistenti applicando la metodologia indicata con riferimento a due località poste agli estremi del tracciato ritenute idonee per l'individuazione del collegamento viario in questione. In particolare si è scelto di determinare il tracciato a minimo impatto che collega lo svincolo di Mormanno sull'A1 e un punto posizionato sulla SS18 immediatamente a sud del centro abitato di Scalea.

Anche in questa occasione si è scelto di far passare il percorso a una distanza maggiore di 250 m dai centri abitati, per i motivi indicati nella parte metodologica. Non è stato possibile escludere dall'analisi spaziale le zone a sensibilità maggiore a causa della notevole estensione delle aree con sensibilità medio-alta e alta. Tale esclusione, infatti, avrebbe determinato una barriera invalicabile fra le due località in esame che si collocano ai due lati della catena montuosa dell'Orsomarso che, secondo quanto già evidenziato, presenta un'elevata sensibilità ecologica.
Similmente a come è stato fatto per l'area Umbria-Marche, sono state costruite le *accumulative cost distance* a partire dalle due località, impiegando il dataset relativo all'ISg come *cost surface*. Tali superfici, come già specificato, permettono di quantificare i gradienti di impedenza in termini di ISG misurati a partire dalle due località. Sfruttando tali informazioni è stato possibile individuare il percorso a minima impedenza (*least cost path)* (V. Tavola 27).
Procedendo in direzione nord-est – sud-ovest si può osservare che il tracciato ottimale (di lunghezza complessiva pari a 23 Km) nei primi 14 Km attraversa per la maggior parte aree a sensibilità medio-alta; solo in un area posizionata all'interno della formazione montuosa dell'Orsomarso la sensibilità si abbassa a livelli medi. Nelle aree più sensibili potrebbe essere opportuno realizzare diversi tratti in galleria o in viadotto al fine di ridurre l'impatto ecologico e ambientale dell'opera. Superata la linea Orsomarso-Tremoli il tracciato attraversa aree con sensibilità media, fino a giungere le aree pianeggianti prospicienti la costa in cui l'ISg ritorna a livelli medio-bassi.
A differenza di quanto evidenziato per il tracciato ottimale della pedemontana, si può osservare che il percorso a minimo impatto attraversa prevalentemente aree a sensibilità medio-alta, oltre che aree caratterizzate da livelli di sensibilità minore. Le caratteristiche morfologico-strutturali ed ecologico-ambientali dell'area, come già accennato, rendono impossibile l'individuazione di un percorso che si sviluppi all'interno di sole aree a sensibilità globale limitata. Tuttavia il percorso individuato presenta sicuramente un impatto ridotto in confronto ad altre alternative progettuali orientate al collegamento fra le due zone in questione. Esso costituisce un riferimento valido ad una prima selezione del percorso ottimale per l'attraversamento dell'Orsomarso e rappresenta, quindi, un ottimo punto di partenza per le successive fasi di progettazione e analisi ambientale-paesaggistica a livello locale. In queste fasi, attraverso l'analisi di ulteriori elementi di valutazione legati ai contesti particolareggiati in cui l'opera si colloca, si può arrivare alla progettazione di dettaglio dell'infrastruttura e determinare le porzioni stradali da sopraelevare e quelle da collocare in galleria. Al di là dei fattori prettamente tecnico-costruttivi, sicuramente fondamentali ai fini progettuali, la lettura dell'Indice di Sensibilità globale può fornire indicazioni sui tratti dell'infrastruttura che sarebbe opportuno realizzare in galleria per ridurre l'impatto complessivo dell'opera.
Le due superfici relative alle *accumulative cost distance* sono state impiegate per la costruzione del corridoio a minimo impatto (*least cost corridor*), quest'ultimo è stato poi utilizzato per la definizione delle fasce di idoneità secondo la procedura indicata nella metodologia di lavoro (V. Tavola 28).
Al fine di caratterizzare le tre fasce di idoneità è stata effettuata un'analisi incrociata delle stesse con i valori assunti dall'indice di sensibilità globale (Tabella 3). L'elevato livello di sensibilità delle aree attraversate determina la consistente incidenza delle classi caratterizzate da sensibilità maggiore.

Livello di idoneità	Classi di sensibilità globale					
	BASSA	**MEDIO-BASSA**	**MEDIA**	**MEDIO-ALTA**	**ALTA**	**TOTALE**
ALTA	0.0	74.3	339.0	377.0	7.5	797.8
MEDIA	0.0	31.8	141.3	200.3	6.0	379.3
BASSA	0.0	38.5	237.0	316.8	26.0	618.3
Totale	**0.0**	**144.5**	**717.3**	**894.0**	**39.5**	**1795.3**

Tabella 3 Caratterizzazione dei tre ambiti territoriali in funzione delle classi di sensibilità globale

Le fasce di idoneità permettono di definire un ampio margine di spostamento del tracciato di progetto rispetto al percorso ottimale. Anche in questo caso applicativo il percorso a minimo impatto e le fasce a differente idoneità forniscono indicazioni utili ai fini dell'ottimizzazione localizzativa del tracciato dell'infrastruttura viaria.

5. Modello organizzativo dei dati e delle informazioni da considerare

Un corretto processo di pianificazione richiede necessariamente un'approfondita conoscenza delle dinamiche territoriali, il decisore, infatti, nell'elaborare le più opportune scelte di gestione è tenuto a considerare tutta una serie di fattori tra loro strettamente interrelati. In ogni singolo ambito territoriale le componenti fisiche e biologiche, naturali ed antropiche stabiliscono un rapporto complesso e dinamico che costituisce elemento di unicità per ogni contesto. La lettura di tali interrelazioni deve essere necessariamente svolta in maniera integrata, in modo da valutarne le influenze reciproche.

L'avvento dei Sistemi Informativi Geografici ha facilitato questo tipo di valutazioni offrendo la possibilità di rappresentare e gestire una grande mole di informazioni riferite al territorio e al tempo stesso ha reso direttamente confrontabili differenti tipologie di dati che altrimenti sarebbe arduo porre in relazione fra loro.

In funzione di quanto già detto diventa presupposto fondamentale per qualsiasi genere di analisi, la disponibilità del maggior numero possibile di informazioni le più aggiornate possibile. Questa necessità ad oggi si scontra con una generale difficoltà di reperimento dei dati che ha come causa la diffusa la mancanza di un coordinamento fra istituzioni, sia scientifiche che politico amministrative, per la diffusione delle conoscenze.

Per fare fronte a questo tipo di problema e migliorare la riproducibilità del lavoro in tutti i contesti, si è scelto di impostare la struttura dell'analisi in maniera aperta, partendo dalla considerazione dei 4 macrofattori di base: ecologico-ambientale, morfologico strutturale, socio culturale, di frammentazione da infrastrutture. In relazione a criteri di opportunità tecnico scientifica (caratteristiche del dato e attinenza dell'informazione rispetto agli obiettivi dell'analisi) e di disponibilità delle fonti è stato individuato un set di elementi di analisi che potevano essere ricondotti alle 4 macro aree di interesse. Le informazioni raccolte sono stati successivamente combinate e reinterpretate secondo tale chiave di lettura attraverso indici sintetici (Indice di Sensibilità ecologica, Indice di Sensibilità morfologico strutturale, Indice di Sensibilità socio culturale, indici di frammentazione da infrastrutture insediative IFI, UFI). Da questo punto in poi la procedura segue il modello gia definito dallo sviluppo metodologico della ricerca.

L'operatore-analista, in sede di nuova valutazione, potrà decidere, in funzione dei criteri di opportunità-disponibilità delle fonti, se utilizzare lo schema dei dati già predefinito, integrarlo con nuove informazioni, sostituirle in parte o tutto.

Di seguito viene proposto un prospetto di riepilogo dei dati utilizzati, suddiviso per macro fattori di analisi, nel quale è specificata la provenienza dell'informazione e le caratteristiche tecniche dei dati raccolti (tipologia del dato cartografico, scala del rilievo).

Macro fattore di analisi **Ecologico ambientale** **ISe** **Indice di Sensibilità ecologica**	**Origine del dato**	**Tipologia del dato cartografico**	**Scala del rilievo**	**Informazione utilizzata per l'analisi**
Elementi considerati				
Tipologie d'uso e copertura del suolo	Carta delle tipologie d'uso e copertura del suolo **Progetto Corine Land Cover**	Cartografia numerica vettoriale in formato shape file (poligoni)	1:100.000	Secondo livello di classificazione dell'uso del suolo Corine Land Cover
Parchi nazionali, Parchi regionali, Sic, Zps	Cartografia Repertorio **APAT**	Cartografia numerica vettoriale in formato shape file (poligoni)	1:25000	
Livelli di Biodiversità per le specie minacciate	Carta della Biodiversità REN Rete Ecologica Nazionale	Cartografia numerica raster Passo 100m		Frequenza (numero di specie per unità territoriale considerata)
Macro fattore di analisi **Morfologico – strutturale** **ISms** **Indice di Sensibilità morfologico strutturale**				
Geolitologia	Carta geologica d'Italia Servizio Geologico d'Italia	Cartografia numerica vettoriale in formato shape file (poligoni)	1:50000	Tipologie di lineamenti tettonici

Morfologia	Modello Digitale del Terreno - Repertorio **APAT**	Cartografia numerica raster Passo 20 m		Quota altimetrica
Macro fattore di analisi **Socio-Culturale** **ISsc** **Indice di Sensibilità socio culturale**				
Centri abitati	Carta delle aree insediative **ISTAT**	Cartografia numerica vettoriale in formato shape file (poligoni)	1:10.000	Nome della località "
Classi di ampiezza demografica per i centri abitati	Carta delle aree insediative **ISTAT**	Cartografia numerica vettoriale in formato shape file (poligoni)	1:10.000	Numero di abitanti per località
Emergenze storico architettoniche	Carte delle emergenze storico architettoniche Repertorio Cartografico delle Amministrazioni Provinciali ricadenti nelle aree di studio	Cartografia numerica vettoriale in formato shape file (poligoni)	1:25.000	
Macro fattore di analisi **Frammentazione da infrastrutture** **ISfe** **Indice di Sensibilità da frammentazione ecologica**				
Tracciati stradali	Cartografia	Cartografi	1:25.0	Classifica

	repertorio **APAT**	a numerica vettoriale in formato shape file (poligoni)	00	zione della strada per tipologia di traffico Classifica zione della strada per tipologia costruttiva
Centri abitati	Carta delle aree insediative **ISTAT**	Cartografi a numerica vettoriale in formato shape file (poligoni)	1:10.0 00	Superficie occupata dal singolo insediame nto”

Figura 5 Caratteristiche degli elementi considerati per la definizione degli indici di sensibilità

Lo sviluppo complessivo di tutte le fasi di analisi e valutazione connesse alla ricerca è stato gestito l’uso di un software GIS di tipo vettoriale denominato ArcGIS della Esri (per una più approfondita trattazione delle tematiche GIS e della gestione dei dati si rimanda alla prima parte del documento). Come già detto precedentemente caratteristica fondamentale dei sistemi informativi geografici è la capacità di gestire dati di tipo spaziale, associando al puro elemento di rappresentazione cartografica (punto, linea, poligono) un set di informazioni organizzato in forma tabellare.

6. Progetto di percorso formativo per la preparazione degli operatori

Nello sviluppo del lavoro si è fatto ricorso a procedure di valutazione basate su modelli multicriteri e su funzionalità avanzate dei sistemi informativi geografici al fine di integrare le informazioni disponibili e renderle idonee al percorso metodologico adottato. Come osservato all'interno del modello organizzativo dei dati, le informazioni utilizzabili sono molto variegate e caratterizzate da specifiche tecniche estremamente differenziate. Inoltre, le particolari funzioni GIS di analisi e modellazione spaziale impiegate nella ricerca risultano particolarmente complesse anche in considerazione dei numerosi parametri che è necessario considerare nel corso delle elaborazioni.
Per quanto esposto, l'introduzione e l'applicazione del percorso metodologico proposto all'interno dei processi di pianificazione delle infrastrutture viarie rende necessaria la disponibilità di appropriate conoscenze scientifiche e tecniche per lo sviluppo delle fasi di valutazione evidenziate nella ricerca. In più sono richieste conoscenze specifiche e una buona esperienza nel campo delle applicazioni della tecnologia GIS e dei metodi di analisi gerarchica-multicriteri allo studio dei sistemi ambientali e paesaggistici.
In tal senso, ai fini di una maggiore diffusione e applicazione della metodologia orientata all'ottimizzazione localizzativa delle infrastrutture viarie, potrebbe essere necessario sviluppare un percorso formativo per i tecnici delle amministrazioni pubbliche con l'obiettivo di fornire le conoscenze tecnico-scientifiche adeguate.

Il percorso formativo potrebbe essere comprendere i seguenti tre moduli principali:

1. Elementi di pianificazione eco-sostenibile delle reti infrastrutturali di mobilità;
2. Sistemi Informativi Geografici a supporto della pianificazione e progettazione delle infrastrutture;
3. Metodologie orientate alla ottimizzazione localizzativa delle infrastrutture viarie.

Nel primo modulo verranno affrontate le più recenti tematiche connesse ai percorsi della pianificazione delle reti infrastrutturali e delle reti ecologiche con particolare riferimento alla sostenibilità ecologica ed ambientale nell'ambito dello sviluppo delle reti viarie.
Il secondo modulo permetterà di fornire ai tecnici delle conoscenze adeguate sia di carattere generale sia di tipo applicativo sull'architettura e sul funzionamento dei Sistemi Informativi Geografici. Il modulo includerà anche una sezione introduttiva dedicata alle tecniche di rappresentazione cartografica e numerose esercitazioni sui più diffusi software GIS.
Nell'ultimo modulo sarà possibile affrontare in maniera specifica le tematiche e le metodologie adottate nella ricerca presentando in maniera dettagliata i casi applicativi a cui si è fatto riferimento.
In via preliminare è possibile definire i contenuti formativi afferenti ai tre moduli e specificare un numero indicativo di ore per ciascun argomento (Tabella 4). Le ore dedicate alle esercitazioni potranno essere definite, con maggior dettaglio, nella fase organizzativa.

Moduli formativi e relativi contenuti	Ore
1. Elementi di pianificazione eco-sostenibile delle reti infrastrutturali di mobilità	**16**
a. Sviluppo sostenibile e territorio	2
b. Scenario normativo di riferimento	2
c. Pianificazione e infrastrutture	2
d. Indicatori ambientali per la valutazione dell'attitudine all'inserimento delle infrastrutture viarie	2
e. Continuità ambientale e frammentazione degli habitat	2
f. Impatto ambientale ed effetti ecologici delle infrastrutture viarie	2
g. Best location sites e sviluppo infrastrutturale	4
2. Sistemi Informativi Geografici a supporto della pianificazione	**26**
a. Introduzione ai sistemi GIS	2
b. Introduzione ai database	2
c. Cenni di geodesia, topografia, cartografia	4
d. La digitalizzazione e la georeferenziazione dei dati e la conversione fra sistemi di coordinate	2
e. La modellizzazione concettuale dei dati	2
f. Tecniche di acquisizione dei dati	2
g. Interpolazione di dati puntuali	2
h. Analisi ed elaborazione di banche dati vettoriali	2
i. Analisi ed elaborazione di banche dati raster	2
j. Analisi e modellazione di dataset multipli vettoriali e raster	2
k. Visualizzazione e stampa dei dati	2
3. Metodologie orientate alla ottimizzazione localizzativa delle infrastrutture viarie	**32**
a. Individuazione del quadro di riferimento	4
b. Predisposizione di indici sintetici riferiti ai fattori di sensibilità e frammentazione territoriale	6

c. Valutazione della sensibilità territoriale e della sensibilità da frammentazione complessiva	4
d. Valutazione della sensibilità globale all'inserimento delle infrastrutture lineari	4
e. Individuazione del corridoio a bassa sensibilità globale	6
f. Casi applicativi	8
TOTALE ORE	**76**

Tabella 4 Prospetto relativo all'organizzazione dei Moduli Formativi e relativi contenuti

7. Considerazioni conclusive

La ricerca ha consentito di sviluppare e mettere a punto un percorso operativo in grado di definire la migliore allocazione sul territorio di nuove infrastrutture viarie, con particolare attenzione alla sostenibilità ecologica delle opere, vista nei termini della riduzione della frammentazione e della disaggregazione degli habitat.
La metodologia messa a punto prevede l'applicazione di tecniche di analisi multicriteri sulla base delle quali valutare, in maniera obiettiva le soluzioni progettuali. La procedura costituisce valido supporto alle attività dei tecnici chiamati ad esprimere giudizi di opportunità tecnico-ambientale sulla costruzione di opere infrastrutturali.
Il percorso metodologico sviluppato nello studio ha dimostrato una notevole efficacia nel conseguimento degli obiettivi prefissati, rappresenta una base di riferimento che, in relazione al contesto di studio e alla disponibilità di informazioni, potrà essere ulteriormente ampliato, adattato e opportunamente integrato. In particolare potrà essere utilizzato nello sviluppo della fase progettuale preliminare per l'individuazione del contesto territoriale più idoneo alla collocazione di un'infrastruttura viaria.
Grazie alla versatilità delle tecniche multicriteri, dell'analisi gerarchica e della tecnologia GIS, a cui si è fatto ampio riferimento, il percorso di valutazione adottato potrà essere esteso, con ottimi risultati ad altri ambiti paesaggistici oggetto di sviluppo infrastrutturale. Il modello multicriteri con struttura gerarchica sviluppato consente l'analisi e la valutazione incrociata di numerosi fattori che determinano il livello di sensibilità del territorio alla collocazione di una strada.
Nelle due aree in esame sono stati individuati un tracciato caratterizzato da massima idoneità territoriale e fasce ad idoneità decrescente, elementi che rappresentano un elemento di giudizio sintetico molto efficace all'interno del percorso progettuale. Il corridoio a minima sensibilità fornisce inoltre un'indicazione precisa in merito al posizionamento dell'opera nel contesto territoriale di riferimento e rappresenta un ottima base di partenza per le successive fasi di progettazione e analisi ambientale-paesaggistica di dettaglio. In queste fasi, ovviamente, dovranno essere considerati ulteriori elementi di valutazione legati agli specifici contesti in cui l'opera si dovrà collocare al fine di definire il tracciato viario definitivo.
Le informazioni relative alla rete ecologica, non disponibili nei tempi dello studio per le aree oggetto di analisi, evidenziando il livello di connessione degli ecosistemi, rappresentano una base informativa perfettamente integrabile nel modello, utile ad una migliore definizione del tracciato meno impattante dal punto di vista ecologico. Tali informazioni difatti consentono l'individuazione di quelle porzioni di tracciato che maggiormente si configurano come vere e proprie interruzioni dei corridoi ecologici o come elementi di interferenza con le stepping stones che rappresentano elementi strutturali fondamentali nel funzionamento delle reti ecologiche. Nella fase progettuale, nelle aree in cui si verifica una forte interferenza ecologica, sarà opportuno prevedere adeguati accorgimenti per preservare la continuità ambientale esistente e limitare l'effetto barriera determinato dell'infrastruttura viaria.

8. Bibliografia

Continuità ambientale e frammentazione habitat

Battisti C., Contoli L., 1997, *Sulla componente di ricchezza nella biodiversity avifaunistica in Italia, peninsularità ed insularità*, Rivista Italiana di Ornitologia, 67 (2), Milano.

Blasi C., 1999, *L'analisi della connettività e della frammentazione nella definizione dei corridoi ecologici in ambiente urbano e perturbano*, ANPA, Università di Catania, Reti e corridoi ecologici per gli interventi di conservazione e salvaguardia della natura in ambiente urbano e suburbano, 1-3 ottobre 1999.

Di Fidio M., 1999, *Teoria e prassi delle reti ecologiche, dall'isolamento all'integrazione della difesa della natura*, Seminario di studio: *Le reti ecologiche, strategie di equipaggiamento paesistico e miglioramento ambientale*, Università di Firenze, 26.5.99.

Guccione M., 1997, *Ridefinizione degli strumenti di pianificazione e tutela della naturalità diffusa del territorio, le iniziative Anpa sulle reti ecologiche,* Workshop "Governo sostenibile del territorio e conservazione della natura in relazione agli strumenti di pianificazione in Europa", 13.11.97, Sintesi dei lavori, Roma.

Sviluppo sostenibile

ANPA, 2000, Linee guida per le Agende 21 locali.

Bresso M. , 1995 *Sviluppo sostenibile,* in G. Gamba, G. Martignetti, Dizionario dell'ambiente, Isedi.

Forman R.T. & Hersperger A.M., 1997, *Ecologia del paesaggio e pianificazione, una potente combinazione*, Urbanistica, 108, INU, Roma.

Fusco Girard L. , Nijkamp P. , 1999, *Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio*, Franco Angeli Editore

Heinrich Böll Foundation ,2002, *The Jo'burg-Memo: il memorandum di Johannesburg per il summit mondiale sullo sviluppo sostenibile. Ecologia: un nuovo colore della giustizia*, Editrice Missionaria Italiana, Bologna.

Pianificazione territoriale

Amministrazione Provinciale di Siena, 1997, *PTCP*, *Piano territoriale Provinciale*, Assessorato alla PianificazioneTerritoriale e al Servizio Informativo e Statistico, Siena.

Magnaghi A., 1995, *Progettare e pianificare il territorio, un contributo alla questione ambientale*, Urbanistica 104, INU, Roma;

Pungetti G., Romano B., 1999, *Planning the future landscapes between culture and nature*, Symposium Ecological Network, IALE 99, Colorado, USA.

Ziparo A., 1995, *Il piano ambientale in urbanistica*, Urbanistica n. 104, INU, Roma.

Alexander E.R.., 1997, *Introduzione alla pianificazione. Teorie, concetti e problemi attuali,* Clean Edizioni.

Bresso M., Russo R., Zeppetella A., 1985, *Analisi dei progetti e valutazione di impatto ambientale. Aspetti economici e territoriali*, Franco Angeli.

Dal Sasso P., 2001, *Il Paesaggio e l'ambiente nella pianificazione del territorio rurale*, Ed. Grenzi (FG).

Farina A*., 2001, Ecologia del Paesaggio, principi, metodi e applicazioni,* Utet.

Forman R.T.T., Godron M., 1986, *Landscape ecology*, J.Wiley&Sons.

Sistemi informativi geografici

Bailey K., 2003, AMIS: *Development and Application of a GIS/Multicriteria Corridor Evaluation Methodology*, Map Asia Conference 2003.

Di Fazio S.,Barreca F., Modica G., 2004, *A GIS-based decision support system for the sustainable management of grazing in protected areas*. In: Proceedings of the CIGR 2nd Technical Section International Seminar on "New Trends In Farm Buildings", Évora, Portugal, 02-06 maggio 2004.

Di Ludovico D., Romano B., 2000, *The evalutation of environmental fragmentation using GIS tecniques*, PLANECO Newsletter n.5, Novembre 2000, Università dell'Aquila, DAU;

Grimaldi R. (a cura di), *La cartografia e i sistemi informativi per il governo del territorio*, Franco Angeli, Milano.

Poletti A., Gis, *metodi e strumenti per un nuovo governo della città e del territorio*, Maggioli.

Prasada Rao I., Kangadurai B., Jain P.K., Neelam Jain (2003) *Information system for rural road network planning - a case study*, Map India Conference 2003, GISdevelopment.net;

Toccolini A., 1998, *Analisi e pianificazione dei sistemi agro-forestali mediante GIS*, Collana Sistema Agricolo Italiano, Progetto Finalizzato RAISA-CNR, Franco Angeli.

Ecologia del paesaggio e pianificazione spazi aperti

Barrett G.W., Bohlen P.J., *Landscape ecology*, in: Hudson W.E. (edited by), Landscape linkages and biodiversity, Island Press, 1991.

Clementi A. (a cura di), 2002, *Interpretazioni di paesaggio* Convenzione Europea e innovazioni di metodo, Meltemi Editore, Roma.

Colantonio Venturelli R. e Galli A.., 2005, *La Convenzione Europea del Paesaggio e la gestione delle aree metropolitane e degli spazi rurali di riequilibrio*, In AA.VV., "La cultura del paesaggio: le sue origini, la situazione attuale e le prospettive". Leo Olschki Editore, Firenze.

Ingegnoli V.,1993 , *Fondamenti di ecologia del paesaggio*, Milano.

Impatto ambientale e infrastrutture viarie nel paesaggio

Dufek J., 2002, *Evaluation of present transport infrastructure from the viewpoint of the land use, landscape morphology and fragmentation impact*, 8° IENE meeting – session of presentations aprile 2002, Praia da Falèsia – Algarve, Portogallo;

Fiacchini, D. , 2002, *Infrastrutture viarie e fauna selvatica*. Estimo e Territorio.

Trocmé, M.; Cahill, S.; de Vries, J.G.; Farrall, H.; Folkeson, L.G.; Hichks, C. and Peymen, J. (eds), 2003. COST 341 - *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure*: The European Review. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.

Allocazione di infrastrutture viarie nel paesaggio

Department of Transport (DoT), 1993. *Design Manual for Roads and Bridges*. HMSO, London.

Dinetti M. (2000), *Infrastrutture Ecologiche. Manuale pratico per progettare e costruire le opere urbane ed estraurbane nel rispetto della conservazione della biodiversità*, Il Verde Editoriale, Milano;

TABELLE INDICI

<table>
<tr><th>Indicatore
N1</th><th colspan="4">Indice di Sensibilità Ecologica - ISe</th></tr>
<tr><td>Descrizione dell’indicatore</td><td colspan="4">L’indice di Sensibilità Ecologica valuta la qualità dei sistemi ecologici e la risposta al carico antropico.</td></tr>
<tr><td>Unità di misura</td><td>Adimensionale</td><td>Dettaglio territoriale</td><td colspan="2">Sub -comunale</td></tr>
<tr><td>Fonte dei dati</td><td colspan="4">Progetto Europeo Corine Land Cover, Apat Agenzia per la Protezione dell’ Ambiente e servizi Tecnici, Ministero dell’ Ambiente Rete Ecologica Nazionale.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Tipologia dei dati</td><td>Carta delle classi di uso e copertura del suolo Corine Land Cover.</td><td>Scala del rilievo</td><td colspan="2">1:100.000</td></tr>
<tr><td>Carta della biodiversità delle specie minacciate REN Rete Ecologica Nazionale.</td><td>Scala del rilievo</td><td colspan="2">1:100.000</td></tr>
<tr><td>Carte SIC, ZPS, parchi nazionali e regionali.</td><td>Scala del rilievo</td><td colspan="2">1:25.000</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Annotazioni per il calcolo</td><td colspan="4">Vengono posti in relazione, sommandoli, i valori riguardanti la biopotenzialità territoriale e la biodiversità delle specie minacciate (dati Rete Ecologica Nazionale) ponderata dalla presenza di aree naturali protette (SIC, ZPS, parchi nazionali-regionali….). Il risultato viene poi normalizzato su di una scala di valori compresi tra 0 e 5</td></tr>
<tr><td colspan="4">ISe= Btc + BIODIVp</td></tr>
<tr><td colspan="4">Btc:
Vengono attribuiti valori diversi di Btc agli usi del suolo individuati da Ingegnoli per l’ecotessuto mediterraneo e successivamente riadattati alla classificazione proposta dal progetto Corine Land Cover.

<table>
<tr><th>Classi Btc</th><th>Valori per il calcolo dell’ indicatore</th><th>Descrizione</th><th>Btc (Mcal/mq/anno)</th></tr>
<tr><td>Bassa</td><td>1</td><td>Prevalenza di sistemi con sussidio d’energia (industrie e infrastrutture, edificato) o a bassa metastabilità (aree nude, affioramenti rocciosi).</td><td><< 0,5</td></tr>
<tr><td>Medio bassa</td><td>2</td><td>Prevalenza di sistemi agricoli tecnologici (prati e seminativi, edificato sparso), ecotopi naturali degradati o dotati di media resilienza (incolti erbacei, arbusteti radi, corridoi fluviali privi di vegetazione arborea).</td><td>0,5 – 1,5</td></tr>
<tr><td>Media</td><td>3</td><td>Prevalenza di sistemi agricoli seminaturali (seminativi erborati, frutteti, vigneti, siepi) a media resistenza di metastabilità.</td><td>1,5 – 2,5</td></tr>
<tr><td>Medio alta</td><td>4</td><td>Prevalenza di ecotopi a media resistenza e metastabilità (arbusteti paraclimacici, vegetazione pioniera, filari, verde urbano, rimboschimenti, impianti da arboricoltura da legno, pioppeti).</td><td>2,5 – 3,5</td></tr>
<tr><td>Alta</td><td>5</td><td>Prevalenza di ecotopi senza sussidio d’energia, seminaturali (boschi cedui) o naturali ad alta resitenza e metastabilità: boschi del piano basale e submontano, zone umide.</td><td>>> 3,5</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td colspan="4">Biodiversità ponderata:
I valori di ricchezza di specie vengono ponderati (moltiplicando per 1,5) dalla presenza di aree naturali protette (SIC, ZPS, parchi nazionali e regionali). I risultati vengono poi normalizzati su una scala di valori compresi tra 0 e 5</td></tr>
<tr><td colspan="4">Determinazione ISE
Vengono sommati BTC e Biodiversità ponderata i dati così ottenuti vengono normalizzati su di una scala di valori compresa tra 0 e 5.</td></tr>
<tr><td>Variazione dell’indicatore</td><td colspan="4">Max 5= Massima sensibilità
Min 0= Sensibilità nulla</td></tr>
<tr><td>Rilevanza per l’inserimento di nuove infrastrutture</td><td colspan="4">L’Indice di Sensibilità Ecologica consente di stimare la risposta dei sistemi ecologici al potenziale impatto derivante dall’inserimento di nuovi progetti di infrastrutturazione stradale valutando nel contempo il pregio ecologico del territorio sulla base del livello di biodiversità.</td></tr>
<tr><td>Riferimenti bibliografici</td><td colspan="4">Btc Biopotenzialità territoriale (Ingegnoli 1993) indicatore del stato del metabolismo energetico dei sistemi vegetali, capace di misurare la capacità di riequilibrio di un sistema ecologico a fronte di pressioni antropiche, in quanto tale rappresenta un indice ottimale per valutare il grado di conservazione dei paesaggi naturali.

Biodiversità delle Specie Minacciate - Rete Ecologica Nazionale Ministero dell’ Ambiente (Boitani et all. 2002) ricavato dai dati di biodiversità riferiti alla rete ecologica nazionale. Per biodiversità si intende la ricchezza in specie animali e vegetali che vivono in un determinato ambiente. Più è alto il numero di specie e minore è il numero degli individui di ciascuna specie, più elevato è l’indice di biodiversità. La biodiversità rappresenta un indicatore fondamentale dello stato di conservazione ambientale oltre che un elemento qualificante, strumento analitico ed interpretativo del territorio.</td></tr>
</table>

***Scheda 1** Calcolo dell’Indice di Sensibilità ecologica Ise*

<table>
<tr><th>Indicatore
N2</th><th colspan="3">Indice di Sensibilità morfologico strutturale- ISms</th></tr>
<tr><td>Descrizione dell'indicatore</td><td colspan="3">L'Indice di Sensibilità morfologico strutturale valuta l'attitudine del territorio all'inserimento di nuove infrastrutture in funzione delle caratteristiche morfologiche del territorio e delle informazioni relative alla stabilità dei versanti.</td></tr>
<tr><td>Unità di misura</td><td>Adimensionale</td><td>Unità di riferimento territoriale</td><td>Sub-Comunale</td></tr>
<tr><td>Fonte dei dati</td><td colspan="3">Apat Agenzia per la Protezione dell' Ambiente e servizi Tecnici, Amministrazione Provinciale di Perugia Ptcp, Amministrazione Provinciale di Macerata Ptcp.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tipologia dei dati</td><td>Carta delle pendenze</td><td>Scala del rilievo</td><td>DTM 20m</td></tr>
<tr><td>Carte della propensione al dissesto</td><td>Scala del rilievo</td><td>1:100.000</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Annotazioni per il calcolo</td><td colspan="3">Vengono posti in relazione, sommandoli, i valori riguardanti la clivometria e la propensione al dissesto. Il risultato viene poi normalizzato su di una scala di valori compresi tra 0 e 5.</td></tr>
<tr><td colspan="3">ISms= IC + IPD

IC: Indice Clivometrico
IPD: Indice di Propensione al Dissesto</td></tr>
<tr><td colspan="3">IC:
Vengono attribuiti valori diversi di IC a 6 diverse classi di pendenza percentuale.

<table>
<tr><th>Classi di acclività dei versanti</th><th>Valori per il calcolo dell' indicatore</th><th>Descrizione</th></tr>
<tr><td>0 - 5 %</td><td>1</td><td>Terreni pianeggianti</td></tr>
<tr><td>5 – 10 %</td><td>2</td><td>Versanti con acclività molto debole</td></tr>
<tr><td>10 – 15 %</td><td>3</td><td>Versanti con acclività debole</td></tr>
<tr><td>15 – 30 %</td><td>4</td><td>Versanti con acclività intermedia</td></tr>
<tr><td>30 – 50 %</td><td>5</td><td>Versanti con acclività elevata</td></tr>
<tr><td>> 50 %</td><td>6</td><td>Versanti con acclività molto elevata</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td colspan="3">IPD:
I valori di propensione al dissesto vengono definiti sulla base della classificazione relativa alla carta di propensione al dissesto prodotta per i Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale della Provincia di Perugia.
<table>
<tr><th>Valori per il calcolo dell'indicatore</th><th>Gradi di propensione al dissesto</th><th>Caratteristiche geologiche e clivometriche</th></tr>
<tr><td>0</td><td>Classe VI: Aree a bassa o nulla propensione al dissesto</td><td>Affioramenti di calcari mesozoici, travertini e vulcaniti. Pendenze inf. 10%</td></tr>
<tr><td>1</td><td>Classe III: Aree a medio bassa propensione al dissesto</td><td>Affioramenti delle formazioni della Marnoso Arenacea, Bisciario, Scaglia Cinerea. Pendenze comprese tra il 10% ed il 40%</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Classe II: Aree a medio alta propensione al dissesto</td><td>Affioramenti delle formazioni della Marnoso Arenacea, Bisciario, Scaglia Cinerea. Pendenze maggiori del 40%</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Classe I: Aree ad elevata propensione al dissesto</td><td>Aree interessate da movimenti franosi in atto e aree di affioramento delle argille scagliose</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Variazione dell'indicatore</td><td colspan="3">Standardizzazione dell'indice finale su di una classe di valori compresa tra 0 e 5
Max 5= Massima sensibilità
Min 0= Sensibilità nulla</td></tr>
<tr><td>Rilevanza per l'inserimento di nuove infrastrutture</td><td colspan="3">L'Indice di Sensibilità morfologico strutturale consente di stimare l'opportunità all'inserimento di nuovi progetti di infrastrutturazione stradale valutando nel contempo sia il rischio alla costruzione dell'opera su aree non stabili dal punto di vista idrogeologico, sia il potenziale impatto, derivante dall'inserimento di una nuova opera, a carico di aree già compromesse.</td></tr>
<tr><td>Riferimenti bibliografici</td><td colspan="3">Indice di Propensione al Dissesto Provincia di Perugia (Sabatini 1982)</td></tr>
</table>

Scheda 2 *Calcolo dell'Indice di Sensibilità morfologico-strutturale ISms*

Indicatore N3	Indice di Sensibilità Socio-Culturale - ISsc
Descrizione dell'indicatore	L'indice di Sensibilità Socio-Culturale valuta l'attitudine del territorio all'inserimento di nuove infrastrutture stradali considerando, nel contempo, la domanda di comunicazione del territorio e la tutela delle risorse storico-culturali.
Unità di misura	Adimensionale — *Unità di riferimento territoriale*: Sub comunale
Fonte dei dati	Istat Istituto Nazionale di Statistica, Amministrazione Provinciale di Perugia Ptcp.
Tipologia dei dati	Carta delle aree insediative ISTAT — Scala del rilievo 1:10.000 Carta delle emergenze storico architettoniche, Ptcp Perugia. — Scala del rilievo 1:25.000
Annotazioni per il calcolo	**ISsc = ISDI + P_emer_arch** ISDI = Indice di Sensibilità Demografica all'inserimento di Infrastrutture P_emer_arch = Ponderazione riferita alla presenza di emergenze storico architettoniche
	Fase 1: Individuazione delle classi di ampiezza demografica riferite agli insediamenti e creazione di tre livelli informativi distinti. Classe 1 ≤ 5.000 abitanti Classe 2 5.001 – 20.000 abitanti Classe 3 20.001 – 100.000 abitanti
	Fase 2: Determinazione dei valori di sensibilità/propensione demografica al collegamento infrastrutturale (bassa sensibilità = alta propensione) in funzione della distanza da ciascun centro abitato. Distanza (m) — Valori di sensibilità/propensione al collegamento infrastrutturale 1.000 — 1 2.000 — 2 3.000 — 2 4.000 — 3 5.000 — 3 6.000 — 3 7.000 — 4 8.000 — 4 9.000 — 4 10.000 — 4 20.000 — 5 50.000 — 5
	Fase 3: Applicazione di coefficienti ponderali (in funzione delle classi di ampiezza demografica) ai valori di sensibilità/attitudine al collegamento infrastrutturale Classi di ampiezza demografica — Coefficiente ponderale 1 — 3 2 — 2 3 — 1
	Fase 4: Intersezione dei 3 livelli informativi e sommatoria dei valori di sensibilità/propensione al collegamento infrastrutturale sulla base dei nuovi elementi poligonali così individuati.
	Fase 5: Determinazione ISDI Variazione ISDI Max= 45 Min= 3
	Fase 6: Normalizzazione dei dati ottenuti su una scala di valori tra 0 e 5.
	Fase 7: Determinazione P_emer_arch Creazione di un'area di rispetto di 1 km di raggio attorno a ciascuna delle emergenze storico architettoniche presenti nell'area di studio e attribuzione a tali aree di un valore pari a 1.
	Fase 8: Intersezione dei dati di ISDI e P_emer_arch e sommatoria dei due indici.
	Fase 9: Determinazione ISsc Normalizzazione dei dati ottenuti su una scala di valori tra 0 e 5
Variazione dell'indicatore	Min = 0 minima sensibilità/massima attitudine Max = 5 massima sensibilità/minima attitudine
Rilevanza per l'inserimento di nuove infrastrutture	L'Indice di Sensibilità Socio Culturale permette di stimare l'attitudine del territorio all'inserimento di nuove infrastrutture stradali in funzione della domanda demografica potenziale di collegamento viario. Presupposto fondamentale di questo indice è che la domanda di collegamento viario sia direttamente proporzionale alla densità demografica del territorio (in questo caso interpretata come numero di abitanti in ogni singolo insediamento), per tale motivo viene attribuita la maggiore attitudine all'inserimento di infrastrutture alle aree limitrofe i centri abitati di maggiore importanza. La ponderazione dell'indice attraverso i dati riguardanti la presenza di emergenze storico architettoniche consente di introdurre un elemento di tutela del paesaggio dal punto di vista storico-culturale. L'ISsc al contrario degli altri indici di rilevanza ecologica o più genericamente ambientale, orientati a ridurre l'impatto derivante dall'inserimento di nuove opere stradali sul territorio, consente di individuare in positivo la loro migliore collocazione in funzione della richiesta di comunicazione tra i centri abitati.
Riferimenti bibliografici	

***Scheda 3** Calcolo dell'Indice di Sensibilità socio-culturale Issc*

<table>
<tr><th>Indicatore n° N4</th><th colspan="4">Indice di Sensibilità Territoriale - ISt</th></tr>
<tr><td>Descrizione dell'indicatore</td><td colspan="4">L'indice di Sensibilità Territoriale valuta la qualità del territorio in funzione dei valori ecologici, ambientali e socio-culturali.</td></tr>
<tr><td>Unità di misura</td><td>Adimensionale</td><td colspan="2">Unità di riferimento territoriale</td><td>Sub - Comunale</td></tr>
<tr><td>Fonte dei dati</td><td colspan="4">Attività di ricerca DUT</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Tipologia dei dati</td><td colspan="2">Carta della sensibilità ecologica</td><td>Scala del rilievo</td><td>1:100.000</td></tr>
<tr><td colspan="2">Carta della sensibilità ambientale</td><td>Scala del rilievo</td><td>1:100.000</td></tr>
<tr><td colspan="2">Carta della sensibilità socio-culturale</td><td>Scala del rilievo</td><td>1:100.000</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Annotazioni per il calcolo</td><td colspan="4">Vengono posti in relazione, ponderandone l'importanza relativa al fine della definizione della sensibilità territoriale, i valori riguardanti la sensibilità ecologica, ambientale e socio-culturale. Il risultato viene poi normalizzato su di una scala di valori compresi tra 0 e 5</td></tr>
<tr><td colspan="4">ISt= ISep + ISmsp+ISSCp</td></tr>
<tr><td colspan="4">Determinazione dei coefficienti di ponderazione relativa mediante matrice di confronto a coppie (Analytic Hierarchy Process AHP)
<table>
<tr><th>Giudizi di valore</th><th>Sens_Ecol.</th><th>Sens_Amb.</th><th>Sens_Socio_C.</th><th>Coeff. ponderale</th></tr>
<tr><td>Sensibilità Ecologica</td><td>1</td><td>2</td><td>5</td><td>0,58</td></tr>
<tr><td>Sensibilità Ambientale</td><td>0,5</td><td>1</td><td>3</td><td>0,31</td></tr>
<tr><td>Sensibilità Socio_Culturale</td><td>0,2</td><td>0,33</td><td>1</td><td>0,11</td></tr>
<tr><td></td><td>1,7</td><td>3,33</td><td>9</td><td>1,00</td></tr>
</table>
L'importanza relativa attribuita a ciascun fattore viene determinata rispetto all'elemento decisionale di importanza superiore utilizzando una scala numerico linguistica (scala di Saaty) come quella riportata di seguito.
<table>
<tr><th>Giudizio Linguistico</th><th>Grado di importanza</th></tr>
<tr><td>Ugualmente importante</td><td>1</td></tr>
<tr><td>Moderatamente più importante</td><td>3</td></tr>
<tr><td>Sensibilmente più importante</td><td>5</td></tr>
<tr><td>Fortemente più importante</td><td>7</td></tr>
<tr><td>Estremamente più importante</td><td>9</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Variazione dell'indicatore</td><td colspan="4">Max 5= Massima sensibilità
Min 0= Sensibilità nulla</td></tr>
<tr><td>Rilevanza per l'inserimento di nuove infrastrutture</td><td colspan="4">L'Indice di Sensibilità Territoriale permette di stimare la risposta del territorio all'inserimento di nuove infrastrutture viarie prendendo in considerazione gli aspetti di carattere ecologico ambientale e socio-culturale. L'introduzione dell' analisi gerarchica consente altresì di valutare l'apporto di ciascun fattore alla definizione alla definizione della sensibilità complessiva all'impatto.</td></tr>
<tr><td>Riferimenti bibliografici</td><td colspan="4">AHP (Analytic Hierarchy Process, Saaty 1980), è un metodo di aiuto a alla decisione multicriteri capace di stimare la priorità di un fattore di analisi nella scelta della migliore soluzione d'intervento.
Tale metodo è organizzato sulla costruzione di una gerarchia di dominanza, una struttura reticolare costituita da due o più livelli di giudizio. Il primo livello contiene l'obbiettivo generale della valutazione o goal (nel caso specifico definire la sensibilità del territorio al inserimento di una nuova infrastruttura), il secondo livello contiene gli obbiettivi su cui si articola il goal di livello superiore (definire la sensibilità ecologica, ambientale, socio-culturale). Gli obiettivi di livello più basso, elementi subordinati al goal superiore della gerarchia vengono confrontati a coppie tra loro. Gli elementi di ciascuna coppia vengono comparati al fine di stabilire quale di essi è più importante in rapporto all'obiettivo sovraordinato e in quale misura.

Il risultato del confronto è il coefficiente di dominanza che rappresenta la stima del primo elemento di dominanza rispetto al secondo.
Per facilitare il processo di valutazione viene utilizzata una scala semantica di giudizio (vedi sopra) che mette in relazione i primi nove numeri interi con altrettanti giudizi che esprimono, in termini qualitativi, i possibili risultati del confronto.
I coefficienti di dominanza vanno a definire una matrice quadrata reciproca e positiva detta matrice di confronto a coppie, capace di definire i coefficienti di priorità di ogni fattore rispetto a tutti gli altri fattori considerati.

Tale sistema consente anche di valutare la bontà dei giudizi operati dal decisore nella scala delle priorità attraverso il rapporto di consistenza e l'indice di concordanza applicati al calcolo della matrice.</td></tr>
</table>

Scheda 4 *Calcolo dell'Indice di Sensibilità territoriale Ist*

<table>
<tr><th>Indicatore n° N5</th><th colspan="4">Indice di Sensibilità alla frammentazione ecologica - ISfe</th></tr>
<tr><td>Descrizione dell'indicatore</td><td colspan="4">L'indice di Sensibilità alla frammentazione ecologica stima la sensibilità del territorio all'inserimento di nuove infrastrutture di comunicazione, in rapporto al grado di frammentazione del territorio dovuto allo sviluppo della maglia insediativa (aree urbanizzate e viabilità).</td></tr>
<tr><td>Unità di misura</td><td>Adimensionale</td><td>Unità di riferimento territoriale</td><td colspan="2">Maglia regolare di celle da 1 km di lato</td></tr>
<tr><td>Fonte dei dati</td><td colspan="4">Istat Istituto Nazionale di Statistica, Apat Agenzia per la Protezione dell' Ambiente e servizi Tecnici.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Tipologia dei dati</td><td colspan="2">Carta delle aree insediative ISTAT</td><td>Scala del rilievo</td><td>1:10.000</td></tr>
<tr><td colspan="2">Carta dei tracciati stradali Apat</td><td>Scala del rilievo</td><td>1:25.000</td></tr>
<tr><td colspan="2">Maglia regolare di celle quadrate da 1 Km di lato ricavate sull'area di studio</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="7">Annotazioni per il calcolo</td><td colspan="4">ISfe = 5 - Iaf

Iaf= (Ifim* A)+ (Ufim*B)

Ifim: Indice di Frammentazione da Infrastrutture di mobilità
Ufim: Indice di Frammentazione da Urbanizzazione
A: coefficiente di ponderazione Ifim (A=8)
B: coefficiente di ponderazione Ufim (B=2)</td></tr>
<tr><td colspan="4">$Ifim=\Sigma \frac{Lì*lì}{Au}$

Lì : lunghezza dello iesimo tratto di viabilità
lì : larghezza della sede viaria dello iesimo tratto di viabilità
Au : superficie dell'unità territoriale (Comune) di calcolo dell'indice</td></tr>
<tr><td colspan="4">$Ufim = \frac{1-\left(\frac{\Sigma Api}{\Sigma Aci}\right)}{N} * \frac{\Sigma Api}{Asp}$

Apì: Area iesimo elemento poligonale di frammentazione (insediamento)
Acì: Area della circonferenza ideale (circonferenza che possiede il medesimo perimetro dello iesimo elemento poligonale di frammentazione).
Asp: Area dell'unità territoriale di riferimento (cella quadrata di 1 km di lato).
N: numero di frammenti in cui viene suddivisa l'unità territoriale di riferimento.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Coefficienti di ponderazione di Ifim e Ufim:
Vengono utilizzati per migliorare la confrontabilità dei valori espressi da Ifim e Ufim</td></tr>
<tr><td colspan="4">Variazione dell'indicatore:
Max 2 = saturazione insediativa del territorio = Sensibilità minima all' inserimento di nuove infrastrutture
Min 0 = frammentazione nulla = Sensibilità massima all' inserimento di nuove infrastrutture</td></tr>
<tr><td colspan="4">Normalizzazione dei dati:
I dati finali vengono normalizzati su una scala di valori tra 0 e 5. Il range da normalizzare è stato determinato escludendo una parte di valori considerati estremi (o isolati) all'interno della distribuzione di frequenza dei dati ottenuti. Ai dati esclusi sono stati attribuiti i valori minimi o massimi dell'indice.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Conversione dei valori di frammentazione a valori di sensibilità alla frammentazione:

Ai valori di massima frammentazione viene attribuito il minimo valore di sensibilità alla frammentazione Frammentazione (Iaf=5), Sensibilità alla frammentazione (ISfe=0)
Ai valori di minima frammentazione viene attribuito il massimo valore di sensibilità alla frammentazione Frammentazione (Iaf=0), Sensibilità alla frammentazione (ISfe=5)

Lo stesso procedimento viene seguito per tutti i valori intermedi attraverso l'operazione:

ISfe = 5 - Iaf</td></tr>
<tr><td>Variazione dell'indicatore</td><td colspan="4">Max 5= Sensibilità Massima
Min 0= Sensibilità minima</td></tr>
<tr><td>Rilevanza per l'inserimento di nuove infrastrutture</td><td colspan="4">L' Indice di Sensibilità da frammentazione ecologica consente di stimare l'influenza della struttura insediativa (aree urbanizzate, infrastrutture di mobilità) sulla geografia corrente degli ecosistemi, sugli assetti odierni degli areali e sulle relazioni tra le specie.
L'ISfe permette così di valutare l'opportunità all'inserimento di nuove infrastrutture in funzione dell'impatto delle attività umane a carico della biodiversità, provocato dalla presenza di barriere (strade, aree urbanizzate) che impediscono il libero movimento della fauna sul territorio, causando quindi l'alterazione dei popolamenti faunistici presenti.</td></tr>
</table>

Riferimenti bibliografici	***IFI "Infrastructural Fragmentation Index" Indice di Frammentazione da Infrastrutture di mobilità (B. Romano 2000)***. Valuta la frammentazione generata dalla viabilità sulla base delle singole unità territoriali di riferimento. ■ $$IFI = \frac{\sum L_i o_i l_i}{A_u} \text{ dove:}$$ L_i = Lunghezza dei tratti di viabilità plurimodale (autostrada, ferrovia, strada statale, strade comunali, altre strade); o_i = coefficiente di frammentazione relativo alla tipologia viaria: O_1 = Coefficiente di occlusività del livello 1 (1,00) – Autostrade e ferrovie nazionali O_2 = Coefficiente di occlusività del livello 2 (0,50) – Strade statali e ad elevato flusso di traffico O_3 = Coefficiente di occlusività del livello 3 (0,30) – Strade locali e a basso flusso di traffico l_i = larghezza della sede viaria A_u = Superficie dell'unità territoriale di calcolo dell'indice. - ***UFI "Urban Fragmentation Index" Indice di Frammentazione da Urbanizzazione lineare (B. Romano 2000).*** Valuta la frammentazione generata dalla presenza di insediamenti urbani, sviluppati linearmente, concentrati o a carattere sparso, sulla base delle singole unità territoriali di riferimento (maglia di celle quadrate da 1 km di lato). Assunto fondamentale di tale indice è la considerazione della differente influenza, attribuita alla forma degli agglomerati urbani, sugli effetti della frammentazione. $$UFI = \frac{\sum L * \sqrt{\sum S}}{A_u} \text{ dove:}$$ L = lunghezza massima delle porzioni urbanizzate di suolo con preponderanza dimensionale lineare; S = superficie complessiva delle porzioni urbanizzate di suolo A_u = Superficie dell'unità territoriale di calcolo dell'indice. Suddividendo in opportuni range i valori di IFI e di UFI è possibile classificare le unità territoriali (in questo caso celle di 1 km di lato) ed ottenere una configurazione che permette di stabilire quali tra queste sono maggiormente frammentate a causa della considerevole presenza sia di infrastrutture che di insediamenti urbani. In sede di analisi entrambi gli indici sono stati riadattati per adeguarli alle necessità tecniche e metodologiche dello studio.

Scheda 5 *Calcolo dell'Indice di Sensibilità alla frammentazione ecologica ISfe*

<table>
<tr><th>Indicatore n° N6</th><th colspan="3">Indice di Sensibilità globale - ISg</th></tr>
<tr><td>Descrizione dell'indicatore</td><td colspan="3">L'indice di Sensibilità globale stima la risposta complessiva del territorio (da frammentazione, da qualità ecologica, ambientale e socio-culturale) all'inserimento di nuove infrastrutture viarie.</td></tr>
<tr><td>Unità di misura</td><td>Adimensionale</td><td>Unità di riferimento territoriale</td><td>Sub comunale</td></tr>
<tr><td>Fonte dei dati</td><td colspan="3">Attività di ricerca DUT</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tipologia dei dati</td><td>Carta della sensibilità territoriale</td><td>Scala del rilievo</td><td>1:100.000</td></tr>
<tr><td>Carta della frammentazione infrastrutturale</td><td>Scala del rilievo</td><td>1:100.000</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Annotazioni per il calcolo</td><td colspan="3">$ISg = ISt_p + ISfe_p$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Attribuzione dei coefficienti ponderali:
Il criterio base per l'attribuzione dei coefficienti ponderali parte dall' assunto per il quale la condizione di

Max Sensibilità territoriale + Min Sensibilità da frammentazione è paragonabile alla condizione di Media Sensibilità territoriale + Max Sensibilità da frammentazione

Da questo assunto base è possibile impostare un equazione di primo grado a due variabili in cui

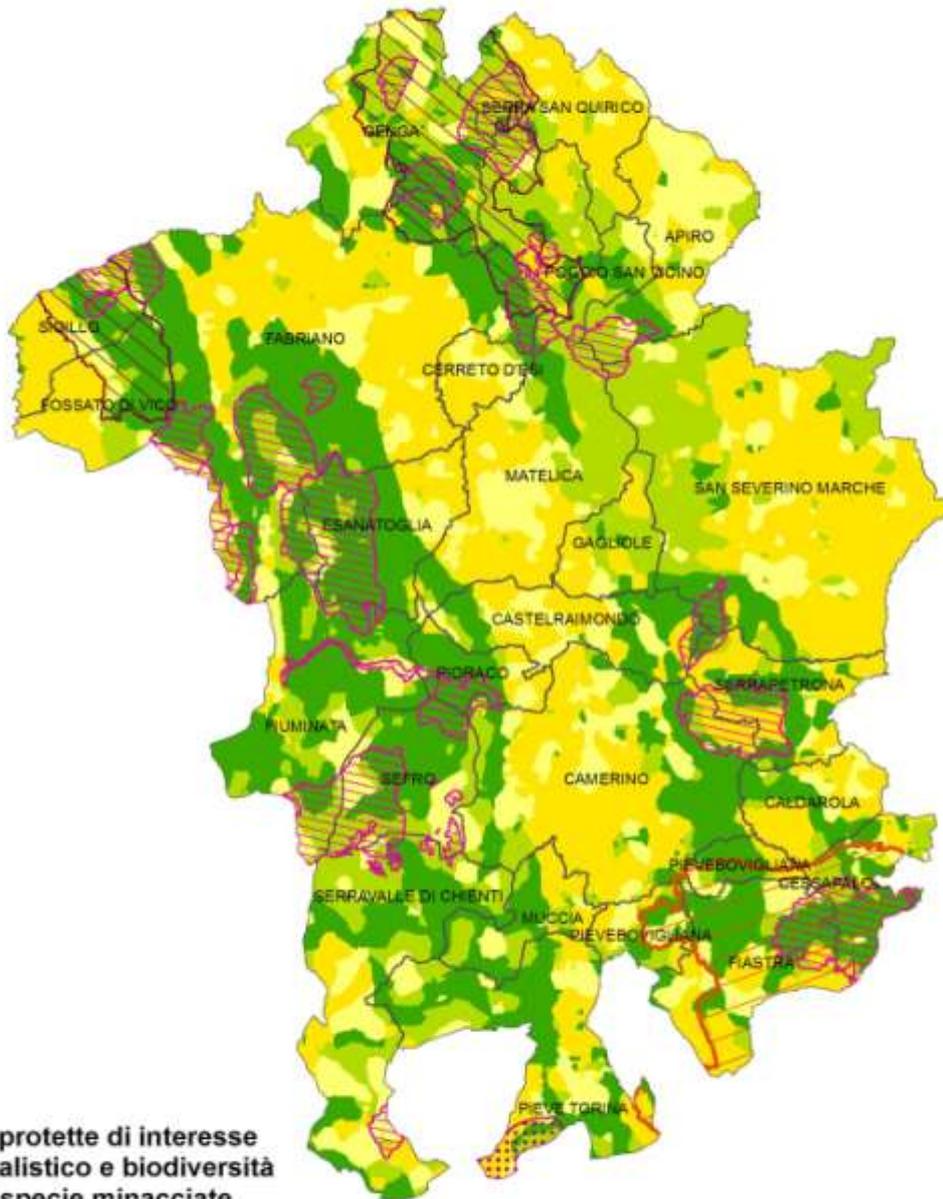
$$5\,PSt + 0\,PF = 2{,}5\,PSt + 5\,PF$$
5 = Valore massimo assunto dall'Indice di sensibilità territoriale
0 = Valore minimo assunto dall'Indice di Sensibilità da frammentazione ecologica
2,5 = Valore medio assunto dall'Indice di sensibilità territoriale
5 = Valore minimo assunto dall'Indice di Sensibilità da frammentazione ecologica

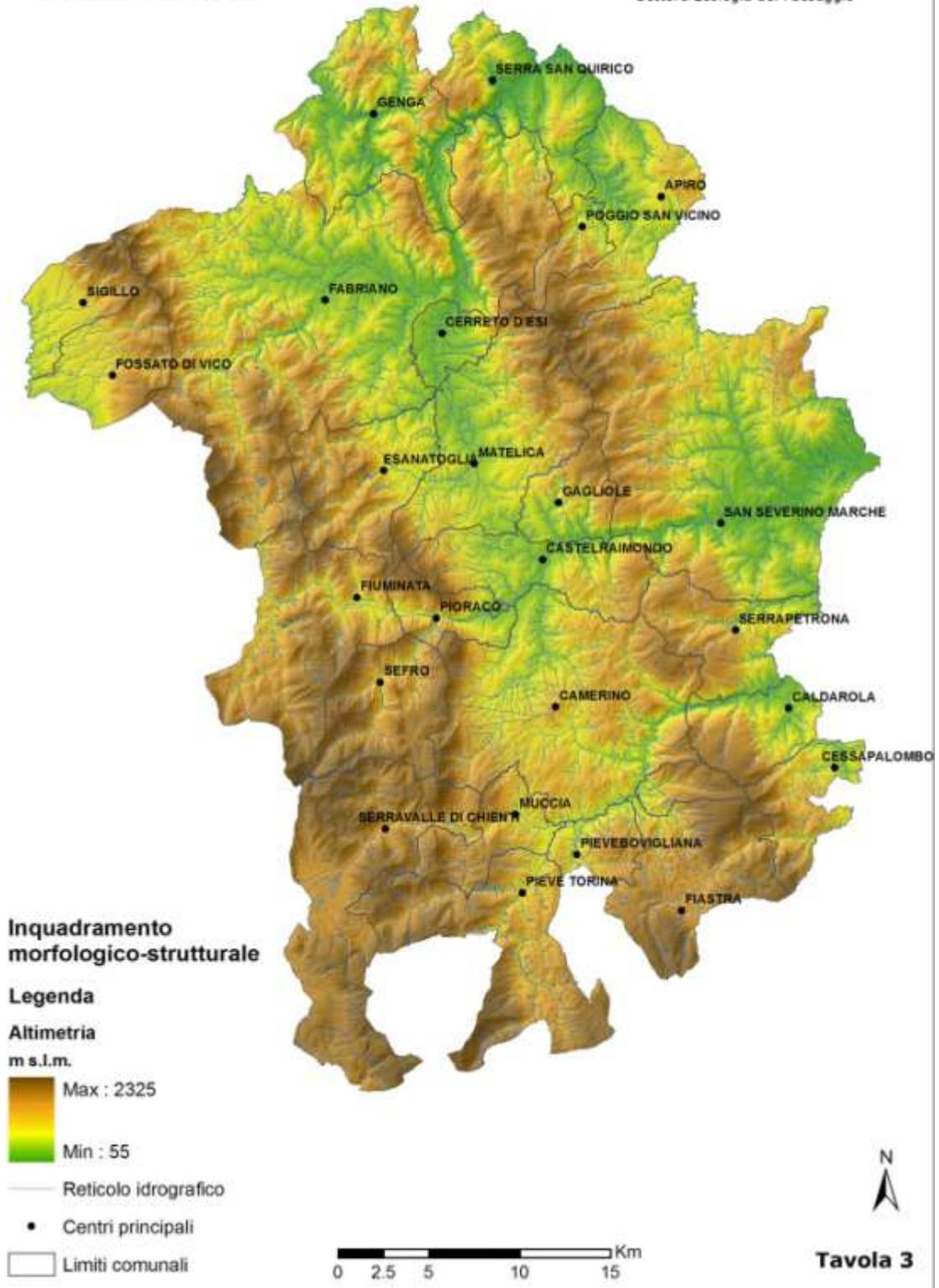
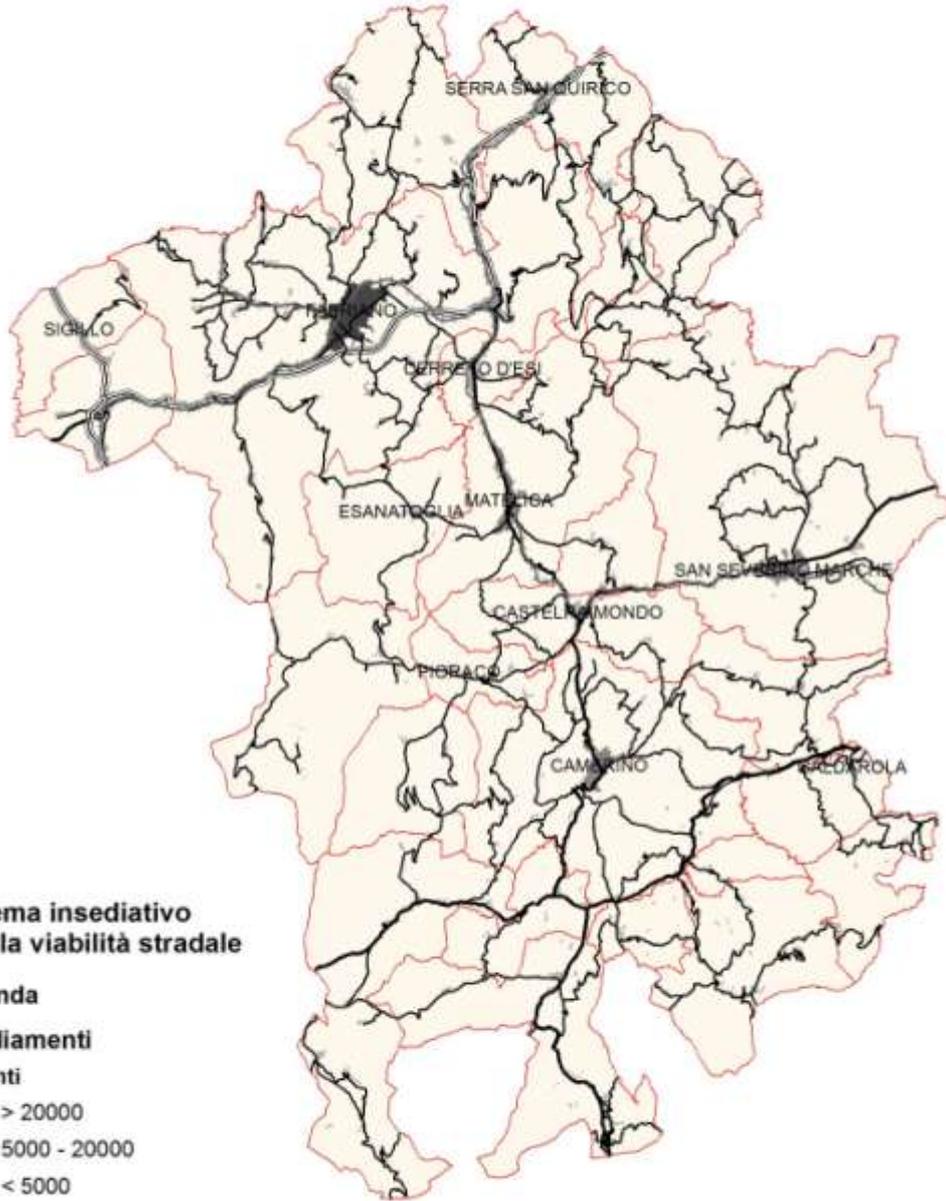
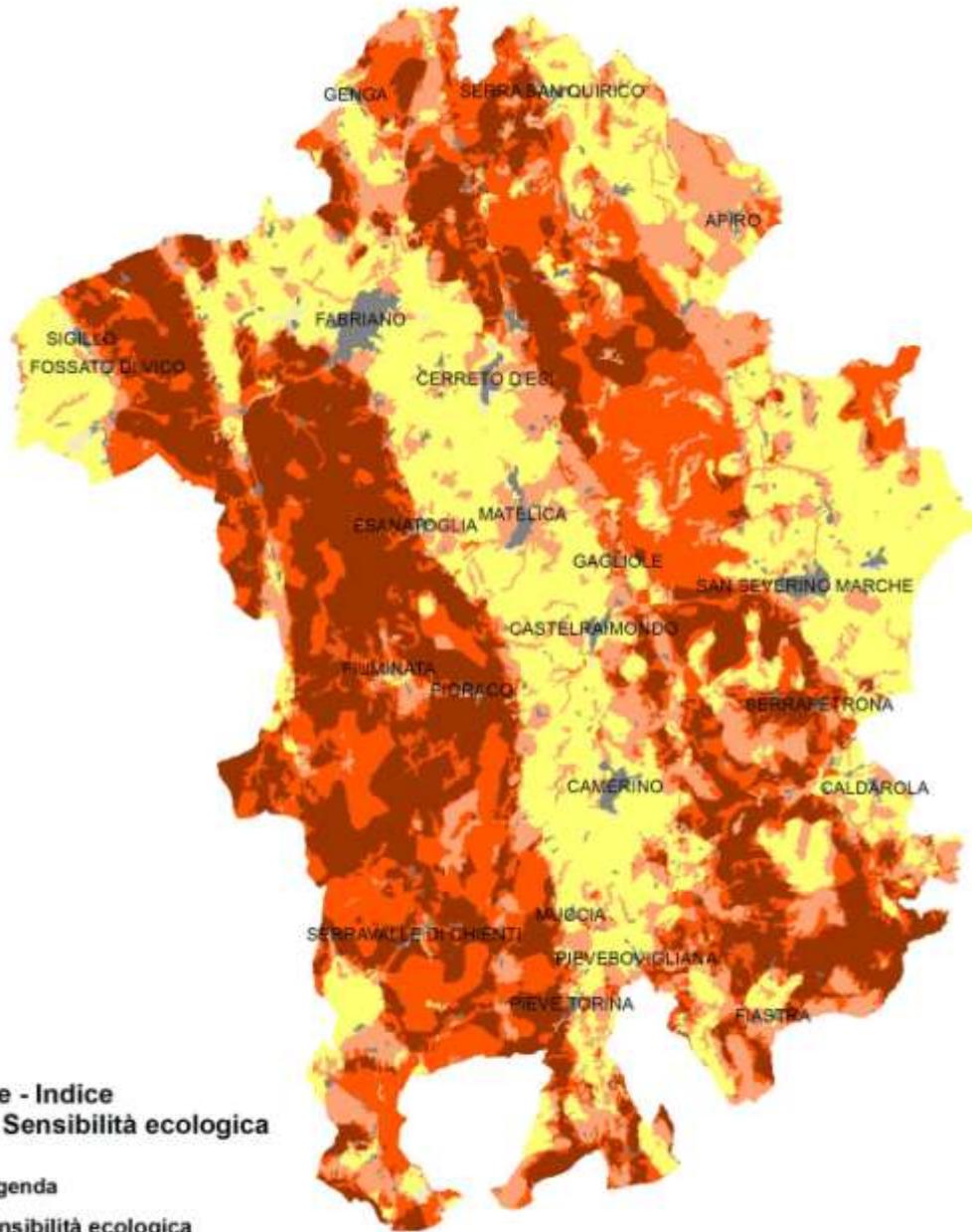
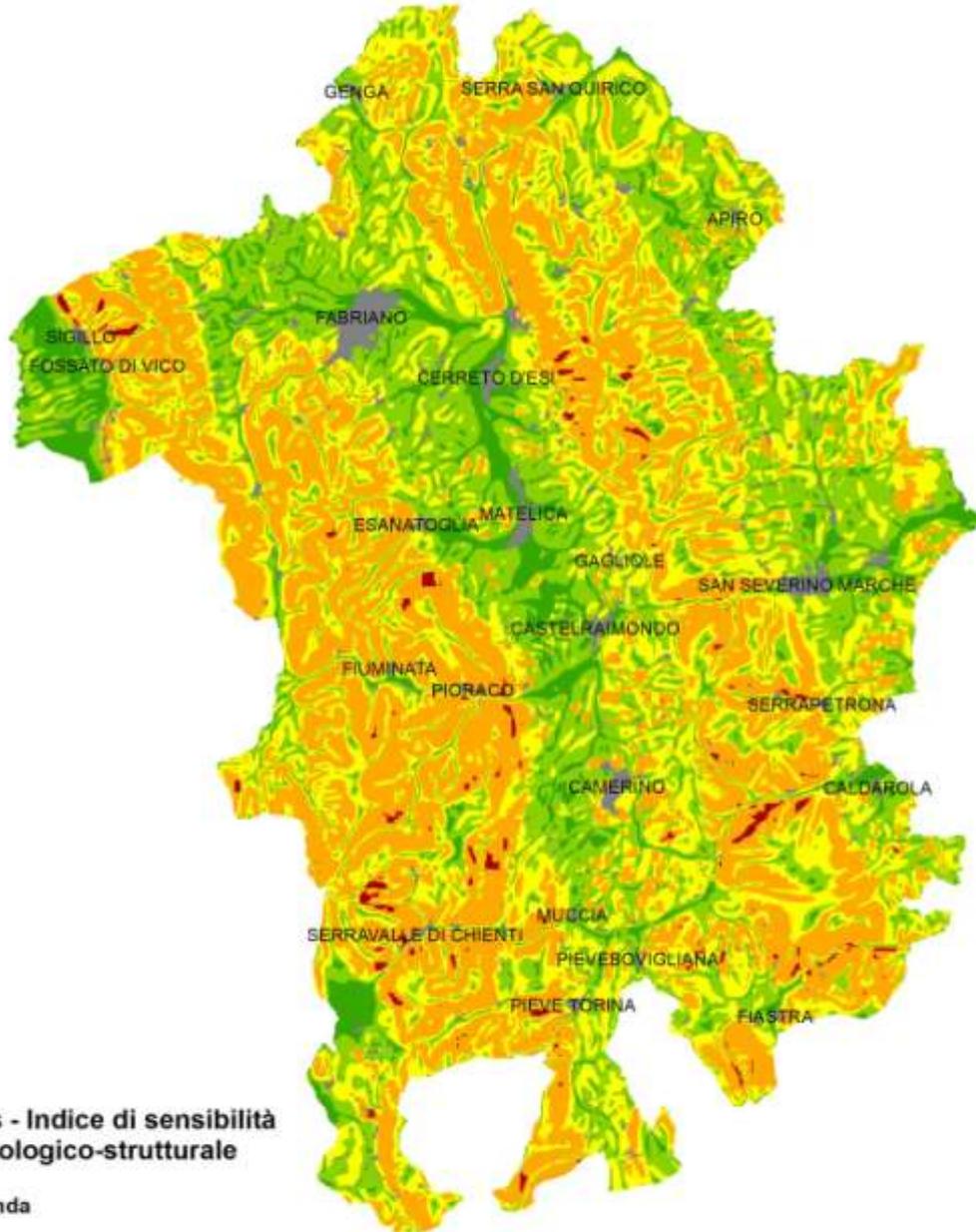
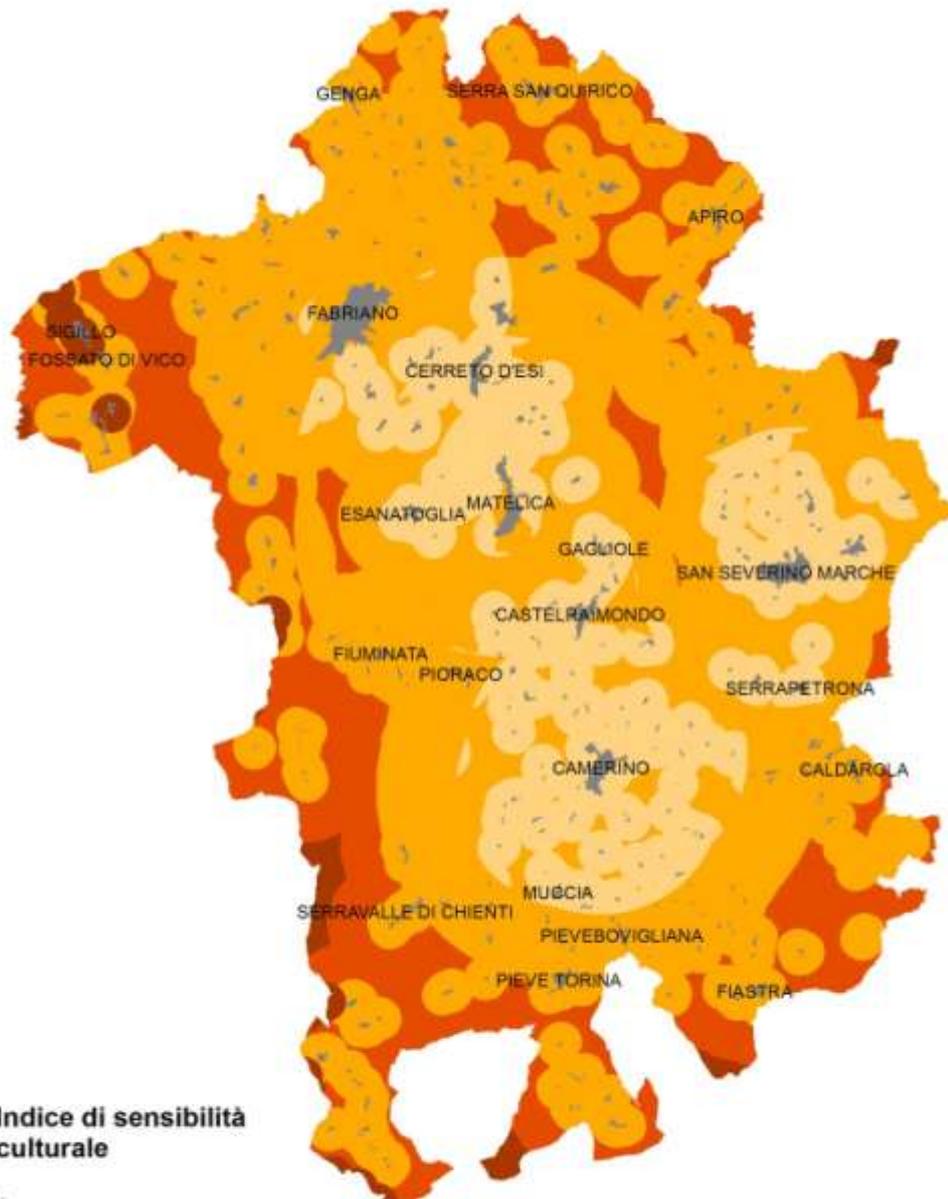
Dove:
PSt= Peso da attribuire ai valori di Sensibilità territoriale
PF= Peso da attribuire ai valori di Sensibilità da frammentazione

Dallo sviluppo dell'equazione PSt risulta essere pari a 0,67 e PF pari a 0,33</td></tr>
<tr><td colspan="3">Normalizzazione dei dati:
I dati finali vengono normalizzati su una scala di valori tra 0 e 5. Il range da normalizzare è stato determinato escludendo una parte di valori considerati estremi (o isolati) all'interno della distribuzione di frequenza dei dati ottenuti. Ai dati esclusi sono stati attribuiti i valori minimi o massimi dell'indice.</td></tr>
<tr><td>Variazione dell'indicatore</td><td colspan="3">Max 5= massima sensibilità all'inserimento
Min 0 = minima sensibilità all'inserimento</td></tr>
<tr><td>Rilevanza per l'inserimento di nuove infrastrutture</td><td colspan="3">L'indice di Sensibilità all'Inserimento di Infrastrutture Lineari consente di stimare la capacità del territorio di tollerare la costruzione di nuove opere infrastrutturali in rapporto alla tutela dei valori naturali e culturali del territorio. Le aree a più ridotta sensibilità rappresentano gli abiti dove, secondo questo punto di vista, risulta maggiormente opportuna la costruzione dell'opera.</td></tr>
<tr><td>Riferimenti bibliografici</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

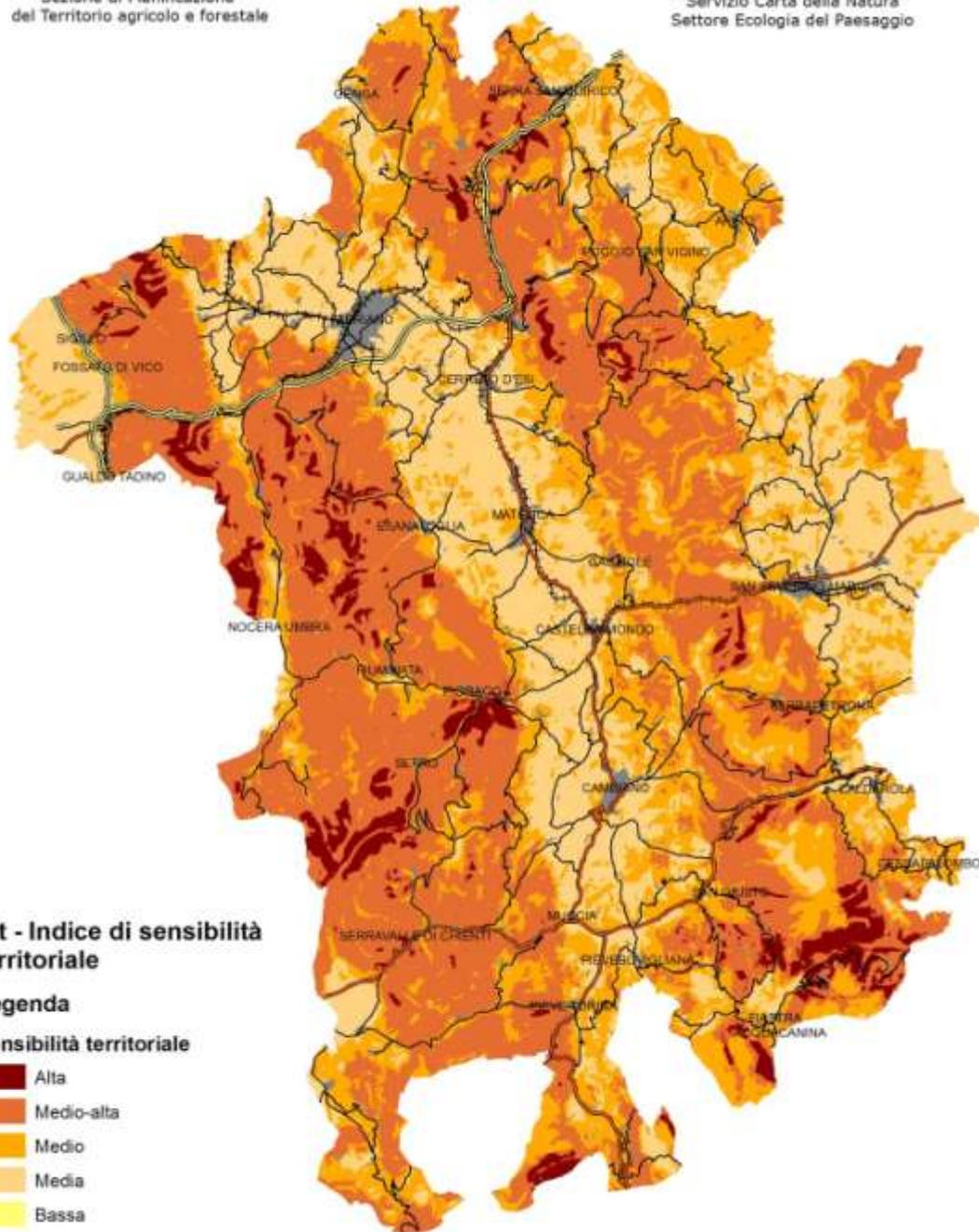
Scheda 6 *Calcolo dell'Indice di Sensibilità globale ISg*

TAVOLE

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
SERRA SAN QUIRICO
GENGA
APIRO
POGGIO SAN VICINO
FABRIANO
SIGILLO
CERRETO D'ESI
FOSSATO DI VICO
MATELICA
ESANATOGLIA
GAGLIOLE
SAN SEVERINO MARCHE
CASTELRAIMONDO
PIORACO
SERRAPETRONA
SEFRO
CAMERINO
CALDAROLA
CESSAPALOMBO
SAN GIUSTO
MUCCIA
SERRAVALLE DI CHIENTI
PIEVEBOVIGLIANA
PIEVE TORINA
Uso e copertura del suolo
Legenda
CORINE 2000 - Livello 2
Acque continentali
Zone boscate
Vegetazione arbustiva e/o erbacea
Prati stabili
Vegetazione rada o assente
Colture permanenti
Zone agricole eterogenee
Seminativi
Zone verdi artificiali non agricole
Zone estrattive, discariche e cantieri
Zone industriali, commerciali e reti di com.
Zone urbanizzate
Limiti comunali
Km
0 2.5 5 10
N
Tavola 1

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
SERRA SAN QUIRICO
GENGA'
APIRO
POGGIO SAN VICINO
SIGILLO
FABRIANO
CERRETO D'ESI
FOSSATO DI VICO
MATELICA
SAN SEVERINO MARCHE
ESANATOGLIA
GAGLIOLE
CASTELRAIMONDO
PIORACO
SERRAPETRONA
FIUMINATA
SEFRO
CAMERINO
CALDAROLA
PIEVEBOVIGLIANA
CESSAPALO
SERRAVALLE DI CHIENTI
MUCCIA
PIEVEBOVIGLIANA
FIASTRA
PIEVE TORINA
Aree protette di interesse
naturalistico e biodiversità
delle specie minacciate
Legenda
Specie minacciate
31 - 40
21 - 30
11 - 20
fino a 10
Parco nazionale
Parchi regionali
Natura 2000 - ZPS
Natura 2000 - pSIC
Limiti comunali
N
0 2.5 5 10 15 Km
Tavola 2

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
SERRA SAN QUIRICO
GENGA
APIRO
POGGIO SAN VICINO
SIGILLO
FABRIANO
CERRETO D'ESI
FOSSATO DI VICO
ESANATOGLIA
MATELICA
GAGLIOLE
SAN SEVERINO MARCHE
CASTELRAIMONDO
FIUMINATA
PIORACO
SERRAPETRONA
SEFRO
CAMERINO
CALDAROLA
CESSAPALOMBO
MUCCIA
SERRAVALLE DI CHIENTI
PIEVEBOVIGLIANA
PIEVE TORINA
FIASTRA
Inquadramento
morfologico-strutturale
Legenda
Altimetria
m s.l.m.
Max : 2325
Min : 55
Reticolo idrografico
Centri principali
Limiti comunali
0 2.5 5 10 15 Km
N
Tavola 3

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
SERRA SAN QUIRICO
SIGILLO
ESANATOGLIA
SAN SEVERINO MARCHE
PIORACO
Sistema insediativo
e della viabilità stradale
Legenda
Insediamenti
Abitanti
> 20000
5000 - 20000
< 5000
Sistema viario
strada principale
strada secondaria
strada di collegamento locale
linee ferroviarie
Limiti comunali
N
Km
0 2.5 5 10 15
Tavola 4

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
GENGA
SERRA SAN QUIRICO
APIRO
FABRIANO
SIGILLO
FOSSATO DI VICO
CERRETO D'ESI
ESANATOGLIA
MATELICA
GAGLIOLE
SAN SEVERINO MARCHE
CASTELRAIMONDO
FIUMINATA
PIORACO
SERRAPETRONA
CAMERINO
CALDAROLA
MUCCIA
SERRAVALLE DI CHIENTI
PIEVEBOVIGLIANA
PIEVE TORINA
FIASTRA
ISe - Indice
di Sensibilità ecologica
Legenda
Sensibilità ecologica
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Insediamenti
N
Km
0 2.5 5 10 15
Tavola 5

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
GENGA
SERRA SAN QUIRICO
APIRO
FABRIANO
SIGILLO
FOSSATO DI VICO
CERRETO D'ESI
ESANATOGLIA
MATELICA
GAGLIOLE
SAN SEVERINO MARCHE
CASTELRAIMONDO
FIUMINATA
PIORACO
SERRAPETRONA
CAMERINO
CALDAROLA
MUCCIA
SERRAVALLE DI CHIENTI
PIEVEBOVIGLIANA
PIEVE TORINA
FIASTRA
ISms - Indice di sensibilità morfologico-strutturale
Legenda
Sensibilità morfologico-strutturale
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Insediamenti
N
0 2.5 5 10 15 Km
Tavola 6

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
GENGA
SERRA SAN QUIRICO
APIRO
FABRIANO
SIGILLO
FOSSATO DI VICO
CERRETO D'ESI
ESANATOGLIA
MATELICA
GAGLIOLE
SAN SEVERINO MARCHE
CASTELRAIMONDO
FIUMINATA
PIORACO
SERRAPETRONA
CAMERINO
CALDAROLA
MUCCIA
SERRAVALLE DI CHIENTI
PIEVEBOVIGLIANA
PIEVE TORINA
FIASTRA
ISsc - Indice di sensibilità socio-culturale
Legenda
Sensibilità socio-culturale
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Insediamenti
N
Km
0 2.5 5 10 15
Tavola 7

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
Ifim - Indice di frammentazione da infrastrutture
Legenda
Frammentazione da infrastrutture
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Nulla
Sistema viario
strada principale
strada secondaria
strada di collegamento locale
Linee ferroviarie
Km
0 2.5 5 10 15
N
Tavola 8
FOSSATO DI VICO
MATELICA
CASTELRAIMONDO
CAMERINO
SERRAVALLE DI CHIENTI
PIEVE TORINA

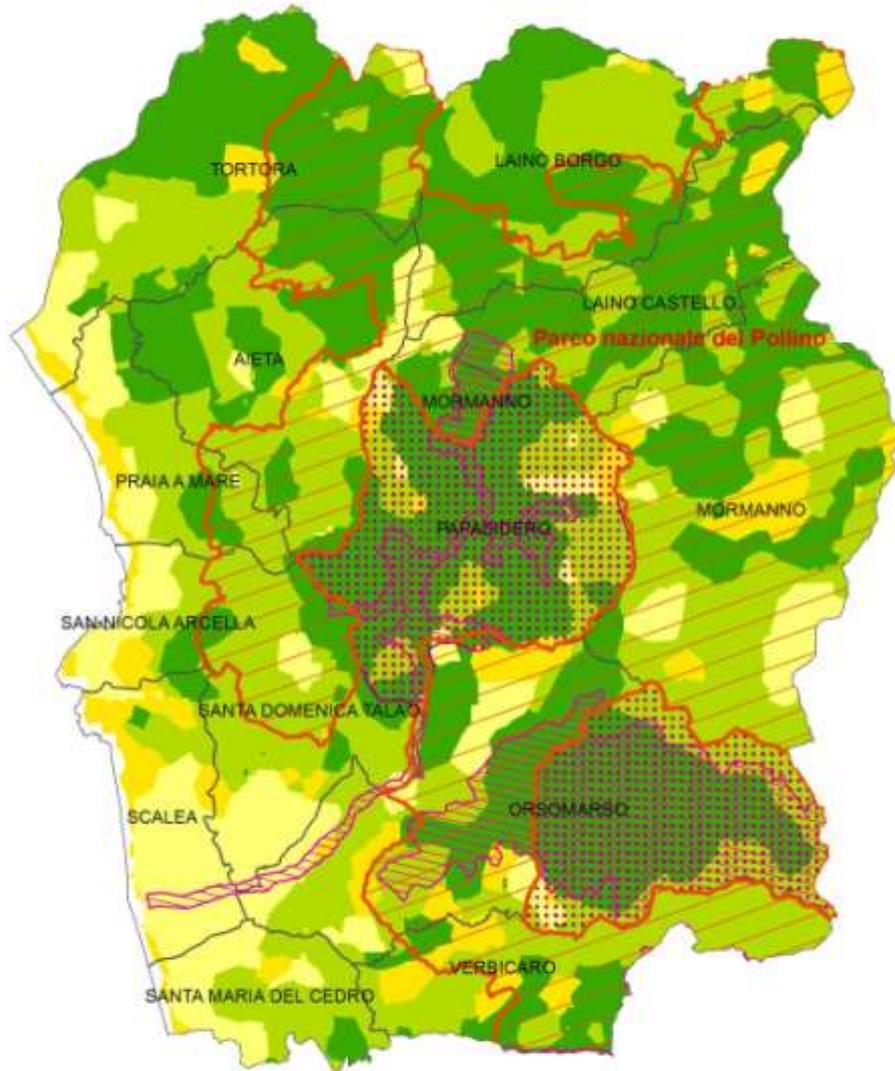
Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
GENGA
SERRA SAN QUIRICO
APIRO
POGGIO SAN VICINO
FABRIANO
SIGILLO
FOSSATO DI VICO
CERRETO D'ESI
GUALDO TADINO
ESANATOGLIA
MATELICA
GAGLIOLE
SAN SEVERINO MARCHE
NOCERA UMBRA
CASTELRAIMONDO
FIUMINATA
PIORACO
SERRAPETRONA
SEFRO
CAMERINO
CALDAROLA
CESSAPALOMBO
SAN GIUSTO
MUCCIA
SERRAVALLE DI CHIENTI
PIEVEBOVIGLIANA
PIEVE TORINA
FIASTRA
ACQUACANINA
Ufim - Indice di frammentazione da urbanizzazione
Legenda
Frammentazione da urbanizzazione
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Nulla
Insediamenti
N
Km
0 2.5 5 10 15
Tavola 9

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
FOSSATO DI VICO
GUALDO TADINO
NOCERA UMBRA
MATELICA
CASTELRAIMONDO
CAMERINO
SERRAVALLE DI CHIENTI
MUCCIA
PIEVEBOVIGLIANA
ISt - Indice di sensibilità territoriale
Legenda
Sensibilità territoriale
Alta
Medio-alta
Medio
Media
Bassa
Insediamenti
Sistema viario
strada principale
strada secondaria
strada di collegamento locale
linee ferroviarie
N
0 2.5 5 10 15 Km
Tavola 10

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
NOCERA UMBRA
ISfe - Indice di Sensibilità
alla Frammentazione
Ecologica
Legenda
Sensibilità alla frammentazione
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Aree edificate
Sistema viario
strada principale
strada secondaria
strada di collegamento locale
linee ferroviarie
N
Km
0 2.5 5 10 15
Tavola 11

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
GUALDO TADINO
NOCERA
ISg - Indice di sensibilità globale
Legenda
Sensibilità globale
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Aree edificate
Sistema viario
strada principale
strada secondaria
strada di collegamento locale
linee ferroviarie
N
0 2.5 5 10 15 Km
Tavola 12

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
Individuazione percorso
a minimo impatto
Legenda
Estremi del tracciato di progetto
Percorso a minimo impatto
Sistema viario
Strada principale
Strada secondaria
linee ferroviarie
Insediamenti
Indice di Sensibilità Globale
Max : 5
Min : 0
N
Km
0
2.5
5
10
15
Tavola 13

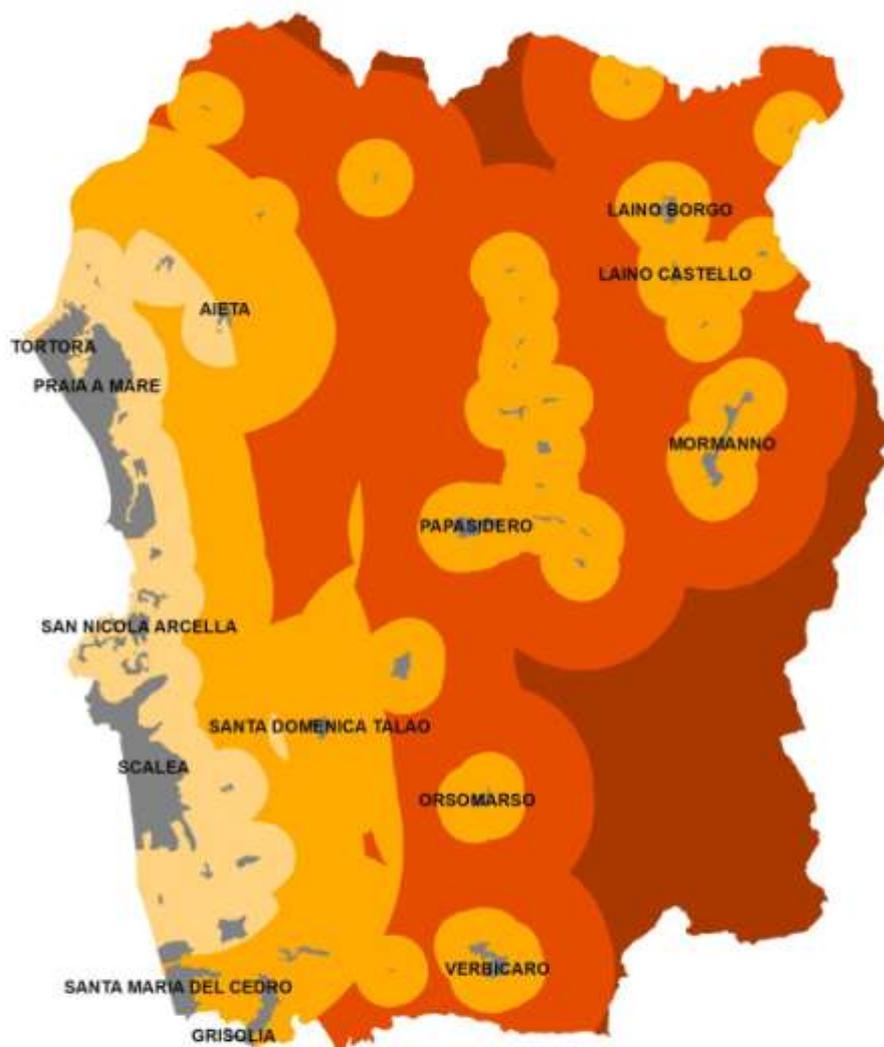
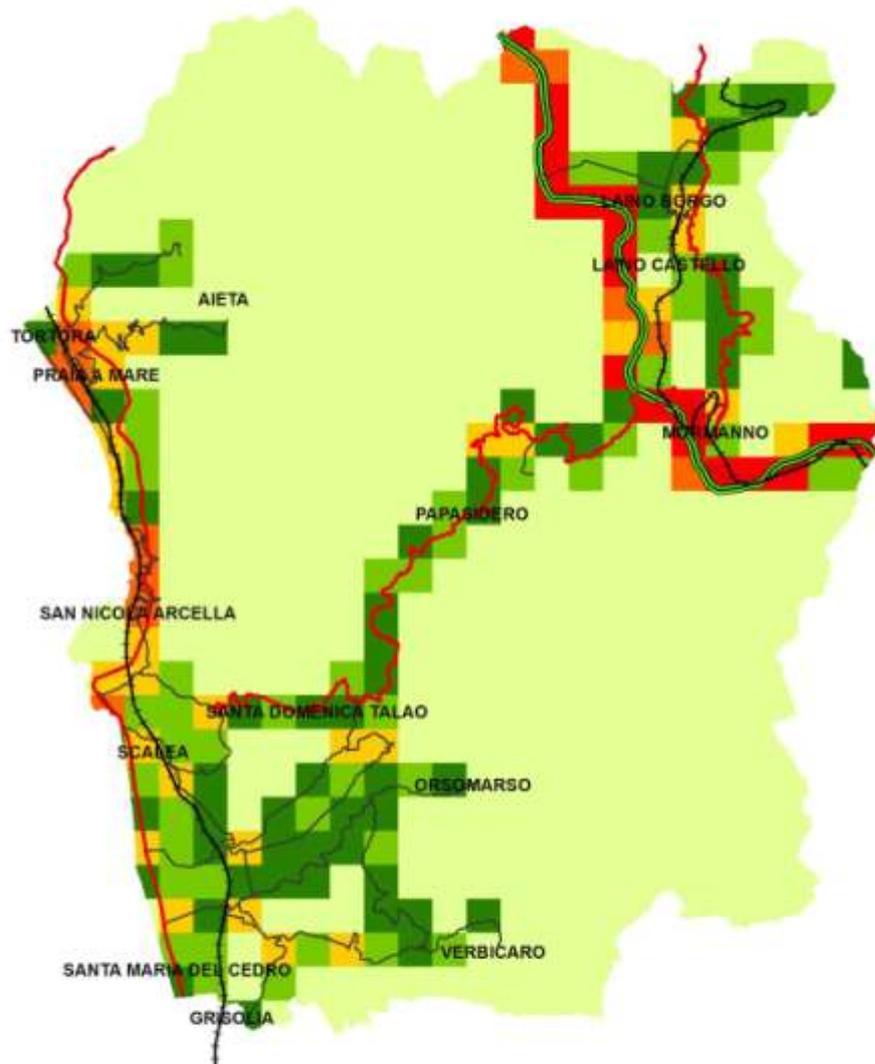
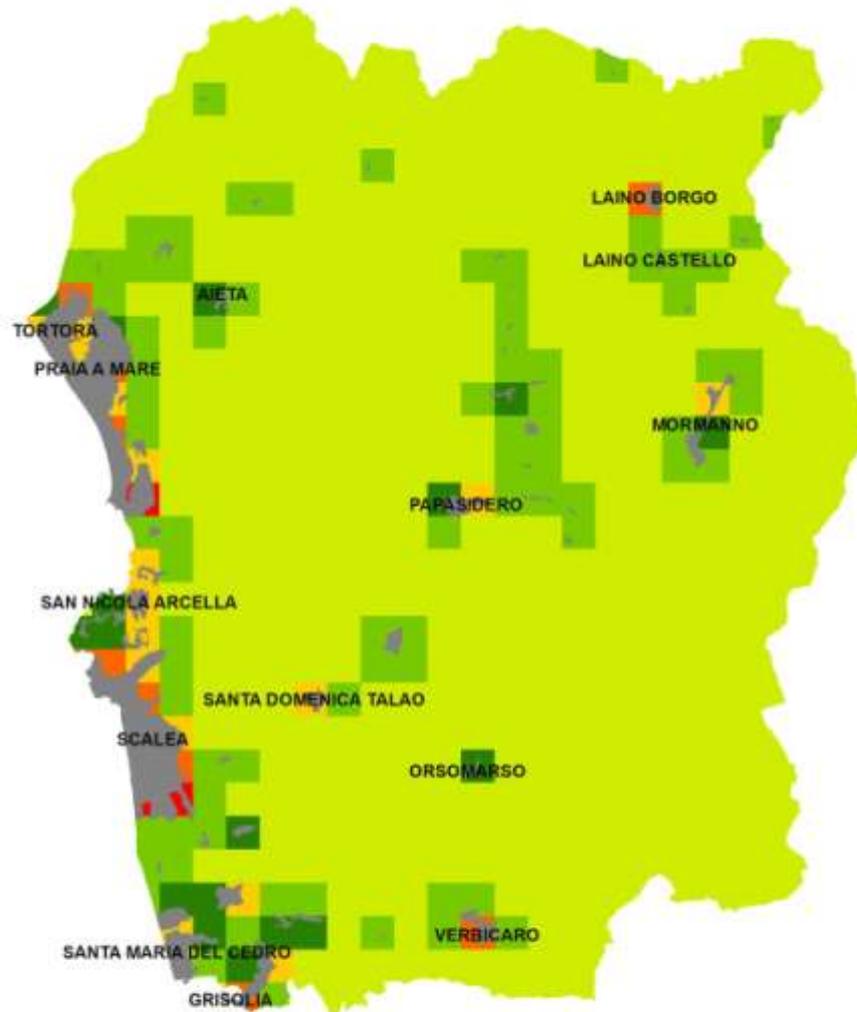
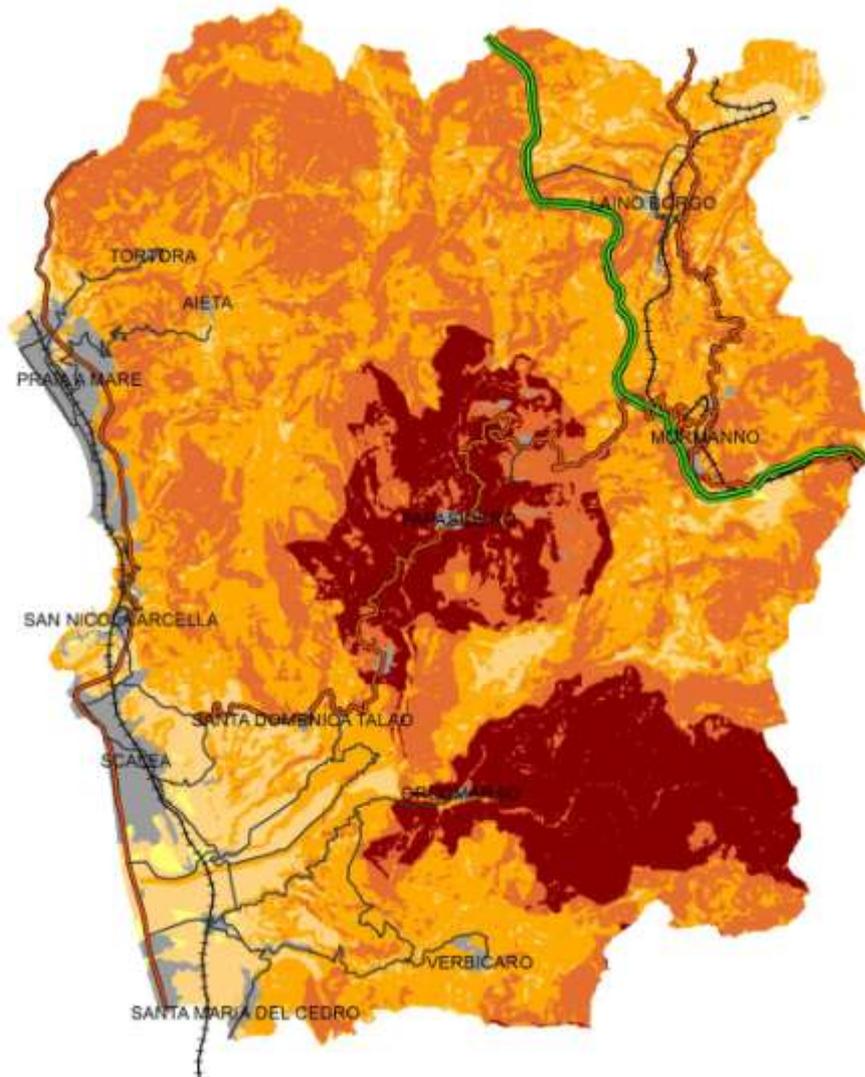
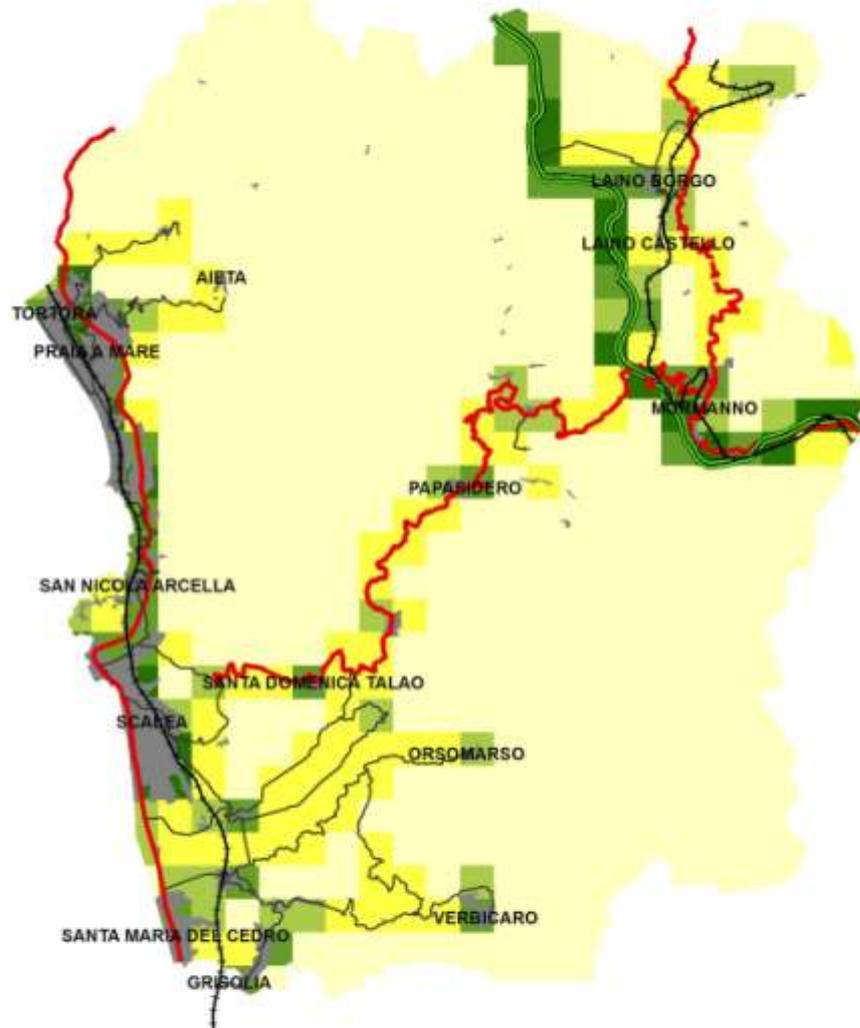
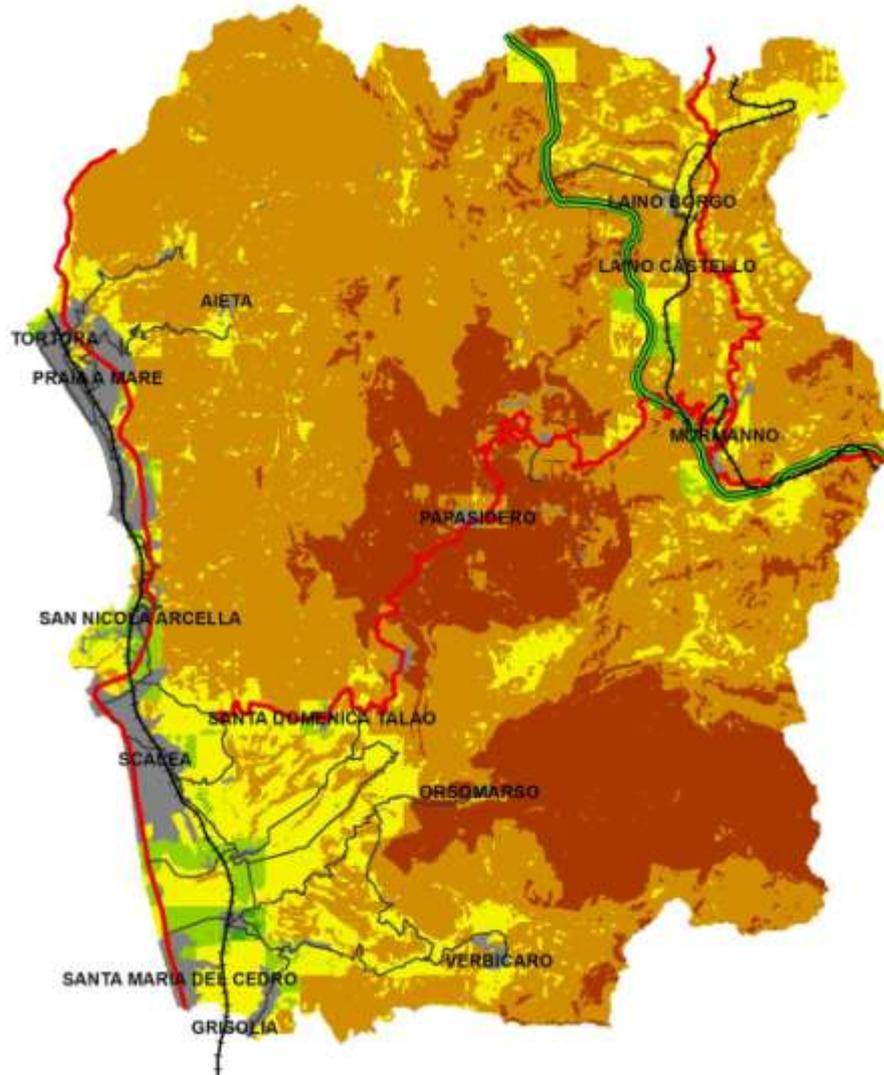
Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
I TRATTO
II TRATTO
III TRATTO
IV TRATTO
ESANATOGLIA
CAMERINO
SERRAVALLE DI CHIENTI
Percorso a minimo impatto e fasce di idoneità
Confronto con il tracciato di progetto
Legenda
Estremi del tracciato di progetto
Tracciato di progetto
Percorso a minimo impatto
Fasce di idoneità all'inserimento
Alta idoneità
Media idoneità
Bassa idoneità
Sistema viario
strada principale
strada secondaria
linee ferroviarie
Confini comunali
Insediamenti
0
2.5
5
10
Km
N
Tavola 14

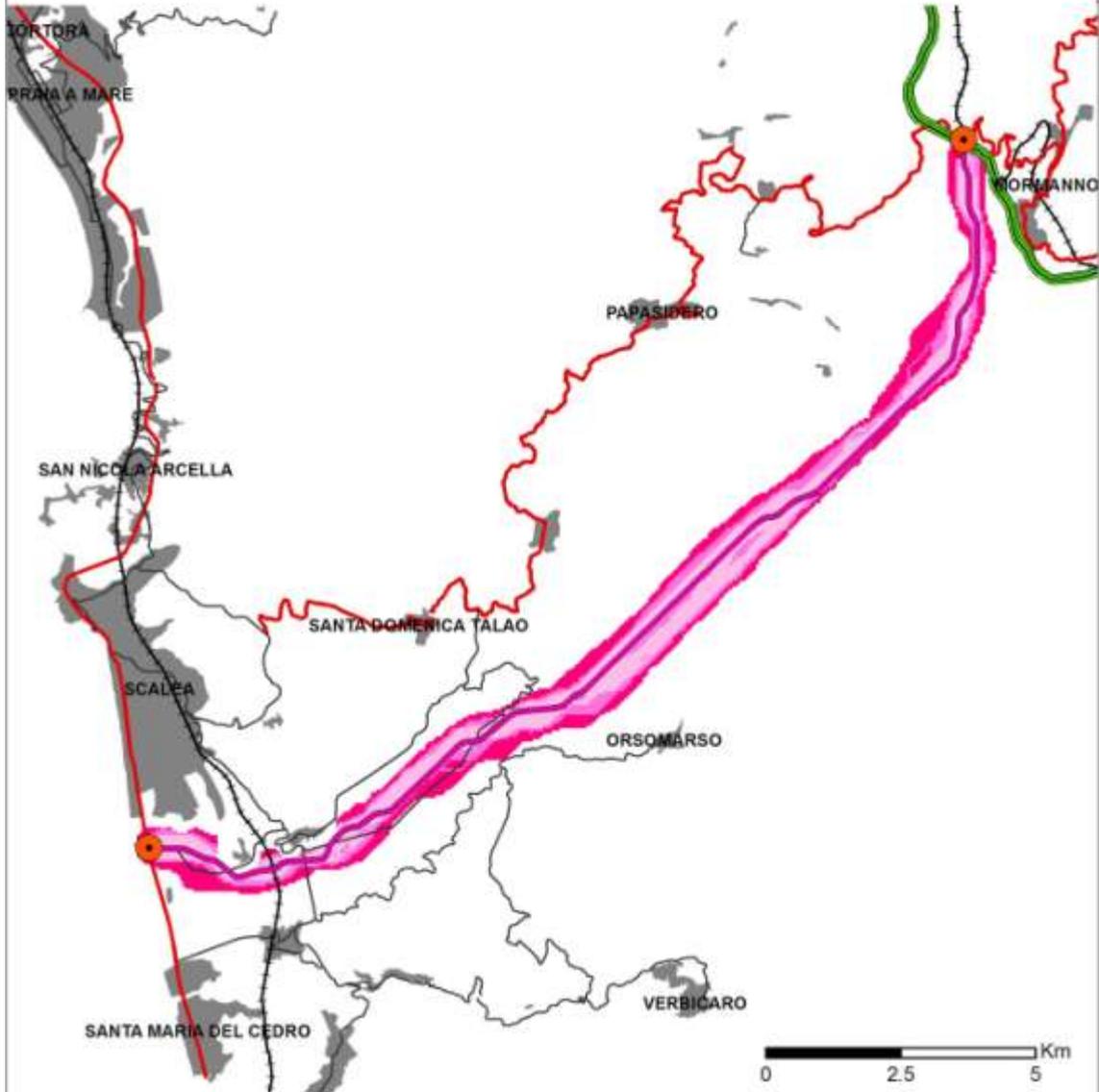
Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
TORTORA
AIETA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
Uso e copertura del suolo
Legenda
CORINE 2000 - livello 2
Acque continentali
Zone boscate
Vegetazione arbustiva e/o erbacea
Prati stabili
Vegetazione rada o assente
Colture permanenti
Zone agricole eterogenee
Seminativi
Zone verdi artificiali non agricole
Zone estrattive, discariche e cantieri
Zone industriali, commerciali e reti di com.
Zone urbanizzate
Limiti comunali
Km
0
2.5
5
10
N
Tavola 15

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
TORTORA
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
Parco nazionale del Pollino
AIETA
MORMANNO
PRAIA A MARE
PAPASIDERO
MORMANNO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
Biodiversità delle specie minacciate e
aree protette di interesse naturalistico
Legenda
Specie minacciate
31 - 40
21 - 30
11 - 20
0 - 10
Parco nazionale
Natura 2000 - pSIC
Natura 2000 - ZPS
Limiti comunali
N
0
2.5
5
10
Km
Tavola 16

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
TORTORA
AIETA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
Inquadramento
morfologico-strutturale
Legenda
Altimetria
m s.l.m.
Max : 1987
Min : 0
Reticolo idrografico
Capoluoghi comunali
Limiti comunali
N
0
2.5
5
10
Km
Tavola 17

Sistema insediativo e della viabilità stradale

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
AIETA
TORTORA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
GRISOLIA
ISe - Indice
di Sensibilità ecologica
Legenda
Sensibilità ecologica
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Insediamenti
N
Km
0
2.5
5
10
Tavola 19

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
TORTORA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
GRISOLIA
ISms - Indice di sensibilità morfologico-strutturale
Legenda
Sensibilità morfologico-strutturale
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Insediamenti
N
Km
0
2.5
5
10
Tavola 20

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
AIETA
TORTORA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
GRISOLIA
ISsc - Indice di sensibilità socio-culturale
Legenda
Sensibilità socio-culturale
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Insediamenti
N
0
2.5
5
10
Km
Tavola 21

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
AIETA
TORTORA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
GRISOLIA
Ifim - Indice di frammentazione da infrastrutture
Legenda
Frammentazione
Alta
Medio alta
Media
Medio bassa
Bassa
Nulla
Sistema viario
Autostrada
Strade statali
Altre strade
Linee ferroviarie
N
Km
0
2.5
5
10
Tavola 22

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
AIETA
TORTORA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
GRISOLIA
Ufim - Indice di frammentazione da urbanizzazione
Legenda
Frammentazione da urbanizzazione
Alta
Medio alta
Media
Medio bassa
Bassa
Nulla
Insediamenti
N
Km
0
2.5
5
10
Tavola 23

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
TORTORA
AIETA
PRAIA A MARE
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
MORMANNO
ISt - Indice di Sensibilità Territoriale
Legenda
Sensibilità Territoriale
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Viabilità e insediamenti
Autostrada
Strade statali
Altre strade
Linee ferroviarie
Insediamenti
N
0
2.5
5
10
Km
Tavola 24

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
AIETA
TORTORA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
GRISOLIA
ISfe - Indice di sensibilità alla frammentazione
Legenda
Sens. alla frammentazione
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Viabilità e insediamenti
Autostrada
Strade statali
Altre strade
Linee ferroviarie
Insediamenti
Km
0
2.5
5
10
N
Tavola 25

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
AIETA
TORTORA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
GRISOLIA
ISg - Indice di Sensibilità Globale
Legenda
Sensibilità Globale
Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa
Sistema viario e insediamenti
Autostrada
Strade statali
Altre strade
Lineee ferroviarie
Insediamenti
N
0
2.5
5
10
Km
Tavola 26

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
LAINO BORGO
LAINO CASTELLO
AIETA
TORTORA
PRAIA A MARE
MORMANNO
PAPASIDERO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
GRISOLIA
Km
0
2.5
5
Individuazione percorso a minimo impatto
Legenda
Estremi ipotetici del tracciato
Percorso a minimo impatto
Sensibilità Globale
Max : 5
Min : 0
Sistema viario e insediamenti
Autostrada
Strade statali
Altre strade
Linee ferroviarie
Insediamenti
N
Tavola 27

Università degli Studi di Perugia
DIPARTIMENTO UOMO E TERRITORIO
Sezione di Pianificazione
del Territorio agricolo e forestale
APAT
APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente
e dei Servizi Tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DELLA NATURA
Servizio Carta della Natura
Settore Ecologia del Paesaggio
PRAIA A MARE
PAPASIDERO
MORMANNO
SAN NICOLA ARCELLA
SANTA DOMENICA TALAO
SCALEA
ORSOMARSO
VERBICARO
SANTA MARIA DEL CEDRO
Km
0
2.5
5
Percorso a minimo impatto e fasce di idoneità
Legenda
Estremi ipotetici del tracciato
Percorso a minimo impatto
Fasce di idoneità all'inserimento
Alta idoneità
Media idoneità
Bassa idoneità
Sistema viario e insediamenti
Autostrada
Strade statali
Altre strade
Linee ferroviarie
Insediamenti
N
Tavola 28

APPENDICE PARTE SECONDA

Connettività ecologica e specifici strumenti in supporto alla pianificazione del territorio

Matteo Guccione
ISPRA – Dipartimento Difesa della Natura

La rete ecologica è un nuovo modo di intendere la pianificazione territoriale dove prevale il concetto di integrazione e continuità biologica, in risposta ai problemi derivanti dalla frammentazione degli spazi e degli ecosistemi. Un'opzione ambientale che vuole rendere concreto un miglioramento complessivo, dinamico e permanente della dotazione in "naturalità diffusa" del territorio, attraverso l'organizzazione spaziale e funzionale degli elementi che la compongono. A circa vent'anni dalla sua nascita come proposta di strategia conservativa, si può dire che essa sia ad oggi, la tipologia di *eco-pianificazione* territoriale maggiormente condivisa. La rete ecologica è anche un modo di integrare necessità di tutela dell'ecosistema con i bisogni di uso sostenibile delle risorse naturali senza diminuire ma anzi aumentando i valori complessivi a lungo termine dell'ambiente, un modo non disgiunto da interessanti risvolti economici e sociali (migliorata fruibilità del paesaggio; nuova occupazione; positivi effetti di riequilibrio generale).

1.Connettività ecologica: il perché di una scelta

La politica delle aree protette, è stata la prima consistente risposta alle preoccupazioni diffuse riguardo un depauperamento evidente della biodiversità di qualunque area geografica. Una risposta che tuttavia è rapidamente apparsa insufficiente, tenuto conto del limite oggettivo di possibilità di espansione di tale categoria di superfici. Pur in presenza di una notevole quantità di aree protette, la biodiversià continua ad essere minacciata dalla frammentazione antropogenica del territorio e senza una soluzione per contrastare quest'ultima, nel lungo termine, qualsiasi sforzo nel preservare la ricchezza di un patrimonio naturale attraverso la riserva di zone ad alto valore biologico, può risultare vano.
E' verso la metà degli anni „Ottanta del secolo appena trascorso, che il mondo scientifico, interrogatosi su questi aspetti, inizia a fare la sue proposte. In termini relativamente brevi, la formula "rete ecologica" come proposta di organizzazione del territorio tesa ad ottimizzare le condizioni idonee alla permanenza di specie ed ecosistemi selvatici, trova una sua consolidata configurazione e acquisisce crescenti condivisioni e consensi. Durante tutti gli anni „Novanta, i principi della rete ecologica trovano molti momenti di codificazione, anche a livello normativo. Si passa dalle Convenzioni internazionali agli strumenti comunitari (Direttiva Habitat) al livello legislativo nazionale (cfr. capitolo successivo a cura di M. Dinetti).
La connessione ecologica, diviene dunque parametro legale facente parte a pari tutolo di tutte le altre strategie normate per la conservazione della biodiversità. Un parametro tuttavia complesso nella sua applicazione perché soggetto ad interpretazione dipendente da molte variabili e con difficoltà di immediata comprensione.
Da un lato quindi un'importanza riconosciuta a questo valore ecologico, dall'altro lato un'esigenza di comprensione di come operare praticamente su di esso, ha determinato la scelta di concentrare sulla connettività ecologica, uno sforzo da parte di un ente

ambientale come l'APAT, per riuscire a mettere a disposizione di un utenza sia generica sia professionale, un primo quadro di conoscenze dalla pratica spendibilità.

2. La nuova pianificazione territoriale: verso una tipologia di modelli sensibili

I recenti sviluppi in materia normativo-procedurale, ambientale ed urbanistica, pur non configurandosi ancora come un esatto disegno strutturato ed organico, determinano un quadro predisposto ad accogliere e favorire nuove positive logiche di scambio ed interazione tra i soggetti istituzionali competenti. All'interno di ciò si prefigurano pertanto nuove opportunità per la proposizione, la pianificazione e l'attuazione pratica di progetti di rete ecologica.

Il riferimento esplicito è ai nuovi modelli piano locale, i *piani strutturali*, singoli (livello mono-comunale) o integrati (livello sovracomunale, con l'integrazione dei singoli piani comunali). In pratica i sostituti dei vecchi PRG, seppure si tratta di strumenti derivati da un'attività di normativa tecnica a iniziativa regionale che non fa riferimento ad un livello legislativo nazionale omogeneo e che anzi vede espressioni solo parziali in alcune e non in tutte le realtà regionali.
Detti piani, distinguono due livelli della pianificazione locale: la fase con orizzonte a lungo termine (i media quindicennale) dove si privilegia il l'indirizzo generale alla definizione puntuale delle azione; la fase con orizzonte a breve-medio termine (in genere coincidente con il periodo temporale di un mandato elettorale, quindi un quinquennio) dove le scelte sono affrontate in maniera precisa e della loro attuazione ne è direttamente responsabile l'Amministrazione territoriale per quel lasso di tempo, in carica.
I momenti di pianificazione così come sopra indicati, particolarmente nella loro componente a medio-lungo termine, non sono attività astratte ma compiti concreti che devono vedere modalità di compartecipazione assolutamente paritetiche tra tutti gli attori della filiera che agisce sulla *governance* del territorio. E' in tale ambito che il lavoro da fare è ancora molto. Gli spazi sono tutti da conquistare poiché ad oggi il tema ecologico, anche nei piani più moderni, rappresenta un'opzione e non una scelta acclarata. Per questo è necessario che tutti coloro che hanno competenze e interesse in detta filiera, siano resi consapevoli degli spazi e delle modalità di azione e sia garantita loro l'opportunità di contribuire per quanto di competenza. L'esercizio più utile in tal senso, è quello di sperimentare casi di progettazione partecipata, non limitando l'operatività effettiva di pianificazione solo ad alcune categorie di tecnici e/o funzionari. Solo una visione complessiva e frutto dell'armonizzazione dei diversi punti di vista di differenti attori, infatti, potrà garantire interventi con ricadute reali nell'ottica della sostenibilità e dei risultati duraturi.

3. Il piano dell'APAT sulle reti ecologiche

L'avvio delle attività in APAT (a suo tempo, nella denominazione ANPA), hanno inizio in coincidenza dell'emanazione, nell'estate del 1997, della norma italiana di recepimento della Direttiva Habitat (D.P.R. 357/1997).

Nell'ambito di una specifica iniziativa sul tema delle reti ecologiche, attraverso un piano di programmazione pluriennale, sono state sviluppate diverse attività di ricerca che hanno consentito la messa a punto di una serie di supporti (documenti e prodotti multimediali) utili alla definizione di iniziative a scala locale. La scelta di tale livello è

fondata sul fatto che è a questa scala che la pianificazione del territorio, assume un ruolo basilare nei confronti della tutela e della salvaguardia della biodiversità. Ed è pure in tale ambito che possono generarsi possibili benefici relativi ad un uso eco-compatibile delle risorse naturali locali, grazie anche ad opere di cooperazione tra tutti i portatori d'interesse locale.

L'intervento dell'Agenzia nazionale, si è concretizzato di fatto nella promozione del primo working group a livello italiano a cui è stato affidato un "pacchetto" di attività (workshop tematici, ricerche e studi tecnico-scientifici, elaborazioni documentali) finanziate e distribuite su gran parte del territorio del Paese. Tutte queste esperienze, hanno avuto il loro principale punto di forza nella dimensione regionale in cui sono state realizzate. Un elemento voluto e che ha poi consentito la messa a punto di un metodo già prefigurato per una rapida spendibilità nella realtà pratica della pianificazione locale.
La proposta metodologica contenuta negli strumenti documentali dell'APAT ("Gestione delle aree di collegamento ecologico-funzionale. Indirizzi e modalità operativa per l'adeguamento degli strumenti di pianificazione del territorio in funzione della costruzione di reti ecologiche a scala locale", APAT / INU, 2003) sul tema specifico, coincide con quella rappresentata dalla pianificazione territoriale di livello comunale, provinciale e delle aree protette, ossia con quei piani e programmi che ad oggi garantiscono una più diretta operatività ed una più elevata capacità d'integrazione con le altre scale di progettazione e gestione del territorio, consentendo al contempo, l'individuazione di esatte misure coerenti con gli obiettivi (tutela della connettività ecologico-territoriale).
Nell'ottica di contribuire alla costruzione di percorsi pratici per la definizione di modelli pianificatori e gestionali integrati, il presente lavoro sulle infrastrutture lineari non è che una delle declinazioni possibili e necessarie di un impegno tematico specifico. Un vero e proprio set di strumenti tecnici di cui occorre dotarsi per affrontare in modo adeguato, l'attività progettuale e gestionale dell'organizzazione reticolare dello spazio-ambiente.

Effetti generali della distruzione e frammentazione di habitat a scala di paesaggio: contributo per una revisione

Corrado Battisti
Provincia di Roma, Ufficio Ambiente

Ad una determinata scala di riferimento, un ecomosaico è caratterizzato da sub-unità collocate in un definito ambito territoriale. Queste sub-unità, definite *patches*, sono disperse all'interno di una „matrice' ambientale dominante in termini di superficie. L'analisi di un ecomosaico permette di evidenziare il grado di frammentazione di origine antropica e l'eterogeneità naturale (*patchiness*).

La *patchiness* naturale è la risultante dell'effetto sulla diversità biologica e i flussi biogeochimici di gradienti ambientali distribuiti, nel tempo e nello spazio, ad una determinata scala d'indagine; la frammentazione è invece il risultato dei processi antropici sulla distribuzione e collocazione spaziale di risorse e sui tipi e caratteristiche degli ambienti. Essa può essere considerata un disturbo antropogenico a scala di paesaggio.

Esistono numerose definizioni di questo processo (Andrén, 1994; Spellerberg & Sawyer, 1999; Bennett, 1999; Villard *et al*., 1999; Debinski & Holt, 2000; Farina, 2001; cfr. la revisione in Battisti, 2003, 2004). Ciò, oltre a sottolineare l'interesse scientifico per questo settore, ne evidenzia anche la complessità d'indagine. Secondo alcuni Autori la frammentazione può essere definita come un'alterazione dei *pattern* spaziali di paesaggio. In questa definizione viene evidenziato l'aspetto legato alla configurazione spaziale (*pattern*) degli elementi costituenti il mosaico ambientale. La frammentazione ambientale viene anche definita come un "processo dinamico di origine antropica attraverso il quale un'area naturale subisce una suddivisione in frammenti progressivamente più piccoli, isolati e di minor qualità". Questa accezione focalizza invece l'attenzione sui singoli elementi del mosaico (*patches*) e sulle loro trasformazioni in seguito al processo.

La multiscalarità (scala di frammento, scala del paesaggio) è uno degli aspetti caratterizzanti nello studio di questo processo. Anche la distinzione tra *patchiness* naturale e frammentazione antropogenica riveste un grande interesse per le implicazioni in termini di conservazione della biodiversità.

Un approccio analitico allo studio del processo di frammentazione deve prevedere un'attenta disamina delle singole componenti del processo. Generalmente molti Autori (cfr. le revisioni in Fahrig, 1997) sono concordi nel definirne quattro: 1) distruzione di habitat; 2) riduzione in superficie dei frammenti residui; 3) incremento del loro grado di isolamento; 4) riduzione in qualità degli stessi. Più recentemente però la stessa Fahrig (2003) sottolinea la necessità di considerare in modo separato il processo di frammentazione da quello di distruzione. Infatti quest'ultimo è un processo a sé e ha importanti effetti sulla diversità biologica indipendentemente da quelli derivanti dalla frammentazione degli habitat. Nello specifico, Fahrig (2003) ha sottolineato come il processo di frammentazione debba indicare specificatamente gli effetti derivanti dal cambiamento di configurazione, di rapporto e di qualità dei frammenti, indipendentemente dalla scomparsa di habitat.

La frammentazione è comunque un processo a scala di paesaggio, cioè di sistema complesso. Il suo studio dovrà pertanto prevedere oltre a un'analisi degli effetti

rilevabili a scala del singolo frammento/*patch*, anche una sintesi degli effetti, a volte moltiplicativi, alla scala dell'intero sistema paesistico. Tali effetti sono determinati dalle relazioni tra componenti ambientali (individui, specie, comunità) e le variabili spaziali alle diverse scale di frammento e di paesaggio.
Per fare un esempio il numero di specie presenti in un frammento forestale, inserito in una matrice trasformata dall'uomo (ad esempio a conduzione agricola), può essere influenzato dalla superficie della *patch* residuale, dal suo grado di isolamento, dalla sua forma e dalla intrusione di fattori/processi antropogenici (es., disturbi) provenienti dalla matrice ambientale circostante. Sono tutte variabili che possono essere ricavate attraverso un'analisi a scala di frammento (area, forma, isolamento dal più vicino frammento residuo, ecc.). Variabili a scala di paesaggio possono essere, per esempio, la superficie forestale complessivamente presente nel mosaico, la media delle distanze fra tutte le *patches* forestali residue, l'estensione totale dei margini (ecotoni frammento-matrice). Molti lavori, avvalendosi di approcci di statistica multivariata sono risaliti al predittore principale alle due scale (frammento e matrice). Esiste tuttavia un generale accordo sul fatto che, il più delle volte e per gran parte dei gruppi biologici, la superficie di habitat disponibile a scala di paesaggio sia la variabile indipendente di larga misura più importante nel predire alcuni parametri di popolazione e comunità (per esempio numero di specie, abbondanza di individui, indici di diversità). Frank & Battisti (2005), in un recente studio, finalizzato a valutare gli effetti dell'area su comunità di specie di uccelli nidificanti in un arcipelago forestale frammentato (litorale sud di Roma, Anzio-Nettuno), hanno sottolineato un effetto isolamento sull'intero sistema che assumeva, per il gruppo faunistico indagato, le caratteristiche di un vero arcipelago (il coefficiente angolare della retta specie/area si collocava in un range caratteristico delle isole ecologiche). Analoghi risultati sono stati ottenuti per un altro sistema forestale frammentato collocato in settore compreso tra l'area appenninica e l'area metropolitana di Roma (Lorenzetti & Battisti, 2006). Al di là della relazione specie/area, che pur evidenzia un effetto di isolamento indotto dalla frammentazione su sistemi forestali terrestri, un dato allarmante deriva dall'analisi condotta su singoli gruppi di specie caratterizzati ecologicamente (o *guild,* cfr. Verner, 1984). In realtà con la riduzione progressiva della superficie dei frammenti residui si assiste ad una riduzione proporzionalmente differente tra specie sensibili (specialiste o stenoecie) e specie generaliste/antropofile, favorite dalla frammentazione: le prime sono quelle che subiscono un declino più rapido con il diminuire della superficie dell'habitat a disposizione.

L'effetto margine - Il dibattito scientifico sulla frammentazione ha focalizzato l'attenzione sugli effetti che questo processo provoca sulle componenti spaziali dei frammenti residui (es., area, isolamento, forma, ecc.), nonché su altri processi (dispersione, dinamiche di metapopolazione, ecc.). E' stato, tuttavia, sottolineato come sia, in realtà, più opportuno analizzare anche quei cambiamenti che avvengono internamente ai frammenti i quali sembrano essere più importanti nel breve termine rispetto all'alterazione dei fattori e processi prima accennati, i quali mostrano effetti su tempi più lunghi (Saunders *et al.*, 1991; Davies *et al.,* 2001). Quanto segue costituisce un estratto, modificato, dalla revisione proposta in Battisti (2004).
Una delle conseguenze della frammentazione nel breve periodo riguarda l'alterazione della qualità degli habitat nei frammenti residui indotta dai disturbi provenienti dalla matrice trasformata limitrofa (Harris e Silva Lopez, 1992).

Con il termine "effetto margine" (*edge effect*) si intendono una serie di effetti fisico-chimici e bio-ecologici che intervengono nelle aree marginali e di contatto fra tipologie ambientali differenti. Tali effetti sono il risultato delle interazioni fra ecosistemi adiacenti separati da un brusco passaggio (*abrupt transition*; Murcia cit. in Scoccianti, 2001) e sono di tipo deterministico (Davies *et al.*, 2001).
Le aree di margine possono mostrare condizioni ecologiche particolari. Esse, inoltre, aumentano considerevolmente in superficie conseguentemente alla frammentazione. Alcuni Autori ritengono addirittura che i disturbi legati alle aree di margine possano costituire una porzione significativa degli effetti totali della frammentazione sulla biodiversità, specialmente in aree frammentate (Reed *et al.*, 1996).
L'effetto margine induce, nei frammenti, una trasformazione della struttura vegetazionale, del microclima, della copertura del suolo che provoca effetti diretti o indiretti sulla distribuzione ed abbondanza delle specie animali e vegetali (Laurance e Yensen, 1991; Schonewald-Cox e Buechner, 1992). L'entità di tale effetto dipende da una serie di fattori quali la tipologia ecosistemica del frammento, quella della matrice paesistica nella quale esso è inserito, il tipo e grado di frammentazione ed il tempo intercorso dall'inizio della frammentazione (Davies *et al.,* 2001).
Nelle aree di margine possono intervenire cambiamenti microclimatici (luce, temperatura, vento), biologici ed ecologici (cambiamenti nel tasso di germinabilità e di sopravvivenza dei semi, introduzione di specie alloctone/aliene, fenomeni di predazione e competizione da parte di specie marginali provenienti dalla matrice su specie sensibili presenti nei frammenti, ecc.) che amplificano così le conseguenze della frammentazione.
I cambiamenti osservabili ai margini fra frammenti residui e matrice trasformata possono avere profondi effetti su molti processi a differenti livelli ecologici: ad esempio, le alterazioni delle condizioni biotiche, associate con la frammentazione, possono influenzare le funzioni ecosistemiche, così come il ciclo dell'acqua e dei nutrienti (Debinski e Holt, 2000).
A causa dell'effetto margine si può assistere ad una riduzione proporzionale di quella porzione più interna dei frammenti residui che non è sottoposta ai disturbi provenienti dalla matrice (definita, dalla letteratura, area *interior*) (Bennett, 1999; Farina, 2001). Un frammento di ambiente naturale può essere allora ulteriormente suddivisibile in un settore interno, ove gli effetti dovuti alla matrice esterna non intervengono o agiscono in misura minima (nucleo o *interior area*), e in un area marginale di transizione con la matrice trasformata dall'uomo (*edge area*). L'estensione dell'area marginale è proporzionale alla lunghezza del perimetro dei frammenti e dipende dalla percezione che le diverse specie possono avere dei disturbi e della qualità ambientale al margine. Frammenti con rapporto perimetro/area elevato (es., di piccole dimensioni o con perimetro irregolare) presentano una proporzione maggiore di ambienti marginali cosicché i disturbi connessi all'effetto margine potranno interessare una più ampia proporzione del frammento rispetto ad altri che mostrano, invece, un rapporto inferiore. Quindi, popolazioni sensibili presenti in piccoli frammenti possono avere a disposizione una superficie ancora più ridotta di habitat idoneo (Davies *et al.*, 2001).
Alcune tipologie ecosistemiche (ad es., fasce boscose ripariali), che sono naturalmente di forma lineare, mostrano uno sviluppo maggiore lungo una dimensione: conseguentemente, individui e popolazioni di specie sensibili, che utilizzano questi frammenti come habitat o vie di dispersione saranno più esposti ai disturbi provenienti dalla matrice ed all'effetto margine.

Saunders *et al.* (1991) hanno analizzato, in una loro revisione, i diversi aspetti legati all'effetto margine ai quali si accenna di seguito.
Tra gli effetti fisici si possono elencare l'alterazione dei flussi di radiazione, del vento, nel ciclo dell'acqua con conseguenze sulla componente biotica dei frammenti residui.
Con la rimozione della vegetazione naturale la radiazione solare lungo i margini aumenta e le temperature divengono più elevate durante il giorno e più basse nelle ore notturne. Si possono, così, osservare escursioni termiche maggiori sugli orizzonti superficiali del suolo e le temperature dell'aria possono essere significativamente più elevate al margine rispetto all'interno dei frammenti.
I cicli di nutrienti possono essere influenzati dall'aumento di temperatura del suolo che può provocare effetti sui microrganismi e sulla ricchezza, sull'abbondanza degli invertebrati, nonché sulla attività di decomposizione della lettiera.
Il cambiamento nel flusso di radiazione può influenzare anche la fauna di maggiori dimensioni alterando la disponibilità e la collocazione delle risorse, sia nello spazio che nel tempo, con effetti sui meccanismi di competizione, predazione e parassitismo.
A causa dell'effetto margine il trasporto dei gas atmosferici può venire alterato nei frammenti. L'esposizione al vento, soprattutto lungo i margini dei frammenti forestali, dove non viene schermato dalla struttura arboreo-arbustiva, può provocare un danneggiamento fisico nella vegetazione ed una modificazione del tasso di evapotraspirazione, con riduzione dell'umidità ed un incremento del disseccamento, almeno in alcune specie vegetali. Una delle conseguenze può essere l'aumento del rischio di caduta di alberi vicino al margine di aree recentemente frammentate. Tali piante, infatti, possono aver sviluppato apparati radicali in assenza di condizioni marginali e possono risentire negativamente delle nuove condizioni venutesi a creare.
L'aumento di turbolenza dell'aria ai margini dei frammenti può, inoltre, influenzare il successo riproduttivo negli uccelli e l'attività di volo a causa del movimento più marcato degli strati arborei superiori.
Le specie vegetali anemocore subiranno ovviamente, in modo più marcato, gli effetti di tali modifiche nell'intensità e nelle dinamiche dei venti: ad esempio, i semi di alcune specie invasive a dispersione anemocora potranno essere depositati internamente ai frammenti anche ad una certa distanza dal margine.
La frammentazione può provocare l'alterazione del regime delle acque e di varie componenti del ciclo idrologico con conseguenze anche molto evidenti al margine dei frammenti (es., differenti capacità di intercettare l'acqua piovana, nell'evapotraspirazione, nel tasso di umidità del suolo).
In ogni caso, l'intensità di molti fra gli effetti collegati al margine dipenderà molto da quella che viene definita "severità del margine" (Saunders *et al.,* 1991), legata al contrasto strutturale fra gli ambienti: in aree di transizione bosco/aree aperte, strutturalmente molto differenti, gli effetti saranno più marcati rispetto a zone di transizione bosco-vegetazione secondaria-arbusteto (v. anche Wilcove *et al.,* 1986).
Molte delle conseguenze legate all'effetto margine sono di tipo biologico ed ecologico e la loro analisi rientra tra i temi affrontati dalla Biologia della Conservazione. Gill e Sutherland (2000) hanno studiato l'argomento relativamente agli effetti sul comportamento animale.
In aree marginali, come quelle che possono venirsi a strutturare in seguito alla costruzione di una infrastruttura lineare, le specie generaliste e opportuniste provenienti dalla matrice possono esercitare una forte pressione di competizione o di predazione sulle specie *interior,* le quali mostrano, invece, una nicchia ecologica ristretta, una

ridotta capacità dispersiva ed una elevata sedentarietà (Schonewald-Cox e Buechner, 1992).
Numerosi sono gli studi che sono stati condotti, per quanto concerne questo aspetto specifico. Essi riguardano, in special modo, gli uccelli. In paesaggi agroforestali è stato notato come, ad esempio, l'abbondanza dei predatori di uova e nidiacei di uccelli fosse correlata direttamente all'estensione della fascia di margine tra aree agricole e forestali. L'attività di predazione e di parassitismo dei nidi sugli uccelli nidificanti è stata esaurientemente studiata nelle aree di margine (ad es., Gates e Gysel in Kluza *et al.*, 2000).
L'effetto margine di tipo biologico può agire non solamente lungo il perimetro dei frammenti. Internamente ad aree forestali, la presenza di edifici sparsi, non osservabili a scala regionale, può, infatti, favorire un effetto margine a scala sottile (tale tipo di frammentazione è stata definita "perforazione"; Farina, 2001). Tali aree, benché possano apparire non frammentate ad una analisi macroscopica, vengono, così, percepite da specie sensibili come ambienti marginali (Kluza *et al.*, 2000).
I disturbi provenienti da aree limitrofe ai frammenti possono, inoltre, indurre gli individui di determinate specie sensibili a spostarsi in aree meno disturbate. Queste ultime possono, tuttavia, essere anche quelle meno idonee sotto il profilo ecologico (trofico, riproduttivo, ecc.), ad es., possono essere habitat *sink*, subottimali e con meno risorse disponibili. Tutto ciò può comportare conseguenze negative a livello demografico (Goss-Custard *et al.,* 2000).
Tra gli effetti biologici legati al margine figurano anche i disturbi antropici diretti e indiretti dovuti ad un aumento di accessibilità delle aree, più elevata nei pressi di infrastrutture e centri abitati, che si esplica con le più varie modalità ed intensità.
Anche il turismo può recare disturbo su alcune specie particolarmente elusive (si veda sempre quanto riportato da Posillico *et al.,* 2002, in merito al disturbo legato all'attività escursionistica nel Parco nazionale d'Abruzzo sull'Orso bruno, *Ursus arctos,* inquadrabile, in senso lato, come una sorta di effetto margine dovuto alla maggiore accessibilità di aree prossime a strade perimetrali).
Infine, gli erbivori domestici possono cambiare drammaticamente la struttura al margine dei frammenti e costituiscono un ulteriore elemento di disturbo, indirettamente collegato alla presenza umana e analogo a quello provocato da altri animali domestici, i quali possono esercitare una forte pressione di predazione sulla componente faunistica selvatica (es., su micromammiferi terragnoli ed uccelli).
I disturbi legati all'effetto margine possono rendere le popolazioni più vulnerabili a fattori di tipo stocastico (demografici, genetici, ambientali) provocando la scomparsa locale di alcune specie (Woodroffe e Ginsberg, 2000).
Tra i mammiferi, le specie di carnivori maggiormente vagili e con ampio *home range* presentano una elevata vulnerabilità all'effetto margine. Molti grandi carnivori vengono, infatti, uccisi ai bordi delle riserve che, in tal caso, possono funzionare da habitat *sink* (gran parte degli individui di Orso bruno, *Ursus arctos*, rinvenuti morti in Appennino centrale, per cause umane è stata riscontrata nelle aree esterne al Parco nazionale d'Abruzzo; Posillico *et al.,* 2002): anche questo può essere considerato un tipo particolare di effetto margine, legato al comportamento e all'ampiezza dei relativi *home range* delle specie.
Esistono dati da letteratura riguardanti gli effetti del margine sulla componente floristico-vegetazionale. Fra i tanti studi è emerso come, nei margini forestali, sia rinvenibile una minore abbondanza di alcune specie vegetali arboree a causa di una

sottrazione eccessiva dei loro semi a scopo trofico da parte di erbivori consumatori generalisti, provenienti dalla matrice esterna trasformata dall'uomo (Benitez-Malvido, 1998).
Un altro aspetto riguarda le specie vegetali invasive. Alcune fra queste possono limitare la loro presenza alla fascia marginale degli ambienti residui.
Anche le aree con funzione di corridoio di dispersione possono essere interessate da disturbi riconducibili all'effetto margine e possono funzionare da habitat *sink*, di bassa qualità, per alcune specie (Bolger *et al.*, 2001). Ad esempio, nei lepidotteri, è stato osservato come l'effetto margine su queste specie e sulle loro piante nutrici può trasformare i corridoi di dispersione in aree a bassa qualità rispetto ai frammenti di forma circolare e di maggiori dimensioni (Haddad, 1999).
In ogni caso, le risposte all'effetto margine sono specie-specifiche, quindi, legate alle peculiari caratteristiche eco-etologiche di ciascuna specie (o al limite di ciascun gruppo ecologicamente affine)(Farina, 2001) oltre che landscape-specifiche, cioè, legate al contesto paesistico indagato (cfr.. Battisti, 2004).
In Italia, nei boschi residui della pianura padana, l'effetto margine sulla struttura forestale si estende mediamente per 30 metri verso l'interno del bosco (Aa. Vv., 2001).
In tale contesto è stato osservato come frammenti forestali con una estensione inferiore ai 20 ettari possono rischiare il completo annientamento come unità ecosistemiche anche per effetto di fattori fisici legati al margine, come il vento, che ne altera la struttura e la dinamica complessiva. Per tale motivo, è stato osservato come, in linea generale, frammenti con superficie inferiore ai 5-10 ettari possono essere assimilati, sotto il profilo microclimatico ed ecologico, a "sistemi lineari" più che a formazioni forestali.
D'altronde anche in aree geografiche estremamente differenti come quelle tropicali, Lovejoy *et al.* (1986) hanno osservato come in frammenti forestali di superficie inferiore ai 10 ettari l'effetto margine sulla biodiversità si estendesse sino alle porzioni centrali dei frammenti stessi.
In frammenti forestali suburbani le attività umane possono causare una riduzione o addirittura una scomparsa di specie legate al substrato vegetale erbaceo e/o arbustivo principalmente entro i primi 80 metri dal margine (Kluza *et al.*, 2000). Altri Autori assumono un valore estremamente generico ed indicativo di 100 metri come distanza entro la quale possono agire fattori esterni provenienti dalla matrice (*depth-of-edge* in Reed *et al.*, 1996).
Nei frammenti residui di foresta tropicale l'effetto margine può penetrare per una profondità di oltre 300 metri verso l'interno (Biereegard in Debinski e Holt, 2000), benché sia stato osservato come il tasso riproduttivo di alcune specie di alberi appartenenti allo strato superiore (la *canopy*), presenti in aree di foresta poco o nulla frammentate e distanti oltre 10 km o più dal margine, potesse ridursi drasticamente in seguito alla scomparsa locale, conseguente alla deforestazione, della fauna che si ciba dei loro semi (appartenente a differenti gruppi: da insetti a primati).
Nelle foreste di Abete rosso (*Picea abies*) svedesi è stato osservato un effetto margine sui licheni fino a 25-50 metri verso l'interno. In questo caso, il maggior fattore di disturbo legato al margine, per i licheni, sembra essere l'esposizione a forti venti. Uno studio condotto su tali aree ha mostrato come l'abbondanza di una determinata specie (*Alectoria sarmentosa*) fosse marcatamente più bassa al margine comparata con l'interno forestale (Esseen e Renhorn, 1998). Tale sensibilità rende, perciò, i licheni epifiti buoni indicatori degli effetti abiotici legati al margine proprio per le loro capacità

di assorbire acqua e nutrienti direttamente dall’atmosfera, elementi che subiscono drastiche modifiche quali-quantitative dall'interno al margine dei frammenti forestali.
Nella revisione su alcuni aspetti ecologici e di conservazione degli Anfibi, Scoccianti (2001) cita a tale riguardo alcune ricerche promosse da diversi Autori. Matlack ha osservato cambiamenti significativi in alcuni parametri fisici (temperatura, intensità di luce, grado di umidità della lettiera, tasso di evaporazione) e altre differenze a livello strutturale della vegetazione fino a 50 metri dal limite forestale; Haskell, negli Stati Uniti, studiando l’effetto margine dovuto a infrastrutture viarie su ecosistemi forestali, ha evidenziato una diminuzione di abbondanza e ricchezza specifica di macroinvertebrati presenti nel suolo e una riduzione della altezza della lettiera fino ad una distanza di 100 metri dalla strada.
In ambienti aperti l'impatto dell'effetto margine può essere anche più marcato. Il rumore provocato dal traffico veicolare lungo le strade è responsabile della riduzione di densità osservata in alcune specie di uccelli sensibili nei loro habitat frammentati in Olanda. Gli effetti di tale disturbo sono osservabili fino a 250 metri lungo le strade e fino a circa 3,5 km nei pressi delle autostrade sono superiori a quelli provocati dall’impatto meccanico degli individui con gli autoveicoli o dal disturbo visivo (McGregor *et al.,* 2000).
Nell’Oca zamperosee (*Anser brachyrhynchus*), il disturbo provocato dalle strade limitrofe ai campi (che costituiscono l’habitat invernale di questa specie) influenza la loro probabilità di presenza. Gli individui di questa specie preferiscono, così, frequentare aree aperte lontano dalle strade anche se meno idonee sotto il profilo ecologico (Gill e Sutherland, 2000).
Il ruolo delle barriere. lineari - La frammentazione influenza i movimenti individuali e il processo di dispersione (Debinski e Holt, 2000).
I diversi elementi del mosaico ambientale, formatosi in seguito alla frammentazione di origine antropica, possono presentare, per specie differenti, una diversa idoneità e funzionalità ecologica, sia in termini di habitat che come via di dispersione.
Si può allora dire, utilizzando un termine recentemente coniato, che essi presentano una differente “permeabilità”. Elementi puntuali e lineari di origine antropica ed ambiti territoriali “diffusi” con scarsa o nulla idoneità ecologica possono impedire, parzialmente o del tutto, le dinamiche individuali di determinate specie, agendo così da barriera parziale o totale. Tale alterazione può provocare conseguenze a livello di popolazione di tipo genetico e demografico.
L'effetto di barriera alla dispersione dovuto alle opere umane può agire in modo differente rispetto a quello prodotto dalle barriere naturali (mare, catene montuose, ecc.), che, al contrario, provocano effetti su scale spaziali e temporali ben differenti.
Si può parlare di barriere localizzate (es.: infrastrutture lineari e puntuali per alcune specie a dispersione terrestre) e di barriere diffuse (es.: aree urbane ed agricole per alcune specie forestali); di barriere semplici e di barriere complesse (Romano, 2000).
Il concetto di barriera deve essere, in ogni caso, relativizzato alle specie: una stessa infrastruttura o una categoria di uso del suolo può agire da barriera per una specie e da via di dispersione per un'altra: a titolo di esempio, le strade e le opere lineari (elettrodotti, canali artificiali, ferrovie) costituiscono una barriera parziale o totale alla dispersione di alcune specie animali e, al tempo stesso, un formidabile corridoio per specie generaliste, nonché per l'ingresso, negli ambienti naturali, di fonti di disturbo sonore, luminose e chimiche (Spellerberg, 1998).
La funzione di barriera operata da strutture artificiali sulle singole specie si attua, inoltre, attraverso tempi e modalità differenti. La dispersione e, nel complesso, tutti i

movimenti individuali, così come altri processi ecologici, possono essere ostacolati dalla struttura fisica dell'infrastruttura, in senso stretto, da fattori "meccanici" legati alla sua funzionalità (es., tipologia ed intensità del traffico veicolare; periodi di attività degli impianti eolici, ecc.), dall'inquinamento acustico, luminoso, chimico ad essa connesso.
Fra le diverse opere umane realizzate sul territorio, le infrastrutture stradali lineari influenzano marcatamente l'integrità biotica negli ecosistemi terrestri ed acquatici. Trombulak e Frissell (2000; v. anche Spellerberg, 1998) hanno prodotto una revisione sugli effetti ecologici delle strade sottolineando come esse determinino numerosi effetti differenti, che vengono sinteticamente e di seguito elencati:

- distruzione e alterazione dell'ambiente fisico a livello ecosistemico sia limitatamente alla sede stradale che nelle aree limitrofe (cambiamento di densità del suolo, delle temperature, del contenuto in acqua del suolo; inquinamento da gas atmosferici, da sali antineve, da dilavamento dell'asfalto; erosione, sedimentazione e accumulo di rifiuti e metalli pesanti; modifiche nei processi idrologici e geomorfologici per sbancamenti, movimenti terra, deviazioni di corsi d'acqua, ecc.). Le strade, infatti, portano ad una riduzione, oltre che di superficie, anche di qualità degli habitat limitrofi ad esse (Farina, 2001)(vedi anche effetto margine);
- aumento del tasso di mortalità in specie o gruppi sensibili nelle fasi di costruzione (soprattutto su organismi sessili e poco vagili);
- aumento del tasso di mortalità a causa della collisione con autoveicoli (influenza la demografia di molte specie di vertebrati ed invertebrati). Studi basati sulla mortalità lungo le strade possono essere di ausilio per la conoscenza della distribuzione, dell'abbondanza e delle vie di dispersione di determinate specie a differenti scale. Locatelli e Paolucci (1998) hanno osservato come, nel Parco regionale dei Colli Euganei (Veneto), il Riccio europeo (*Erinaceus europaeus*) rappresenti il 40 % del numero totale di uccelli e mammiferi investiti (media 3,2 esemplari/100 km). Anche per questa specie, come per alcuni anfibi (v. Scoccianti, 2001), gli investimenti sembrano concentrarsi in alcuni tratti stradali che potrebbero corrispondere a corridoi preferenziali tra habitat idonei e ove sarebbe opportuno attuare interventi di deframmentazione. Per molte specie di vertebrati gli investimenti stradali lungo le infrastrutture stradali rientrano tra le prime cause di mortalità indotta dall'uomo;
- alterazione nel comportamento animale e di altri fattori demografici e genetici a livello di popolazione, oltre che fisiologici a livello individuale (cambiamento nella dimensione dello *home range* in specie territoriali, nei *pattern* di presenza/assenza e di dispersione, nella struttura sociale e nel successo riproduttivo, nello stato fisiologico dei singoli individui, ecc.). Per quel che riguarda gli effetti demografici, McGregor *et al.* (2000) hanno osservato effetti apprezzabili sulla densità degli uccelli nidificanti in prossimità di strade trafficate (in Olanda effetti sul 60 % di specie) con riduzioni di densità fra il 20 ed il 95 % entro i 250 metri di distanza ed entro i 3,5 km dalle autostrade (v. paragrafo sull'effetto margine). Tale impatto è risultato superiore a quello prodotto dal disturbo visivo o della mortalità per collisione con autoveicoli. Resta, inoltre, da approfondire il ruolo del disturbo sonoro indotto dal traffico veicolare sulle vocalizzazioni a scopo territoriale e riproduttivo degli uccelli (inquadrabile anche come effetto margine). Ad esempio, tra i passeriformi, il Luì grosso (*Phylloscopus trochilus*) ha mostrato un successo riproduttivo inferiore nelle aree limitrofe alle strade (McGregor *et al.,* 2000);
- alterazione del dinamismo della metapopolazione a scala regionale;

- effetti a livello di comunità con una riduzione di ricchezza specifica e cambiamenti nella composizione qualitativa nelle aree limitrofe. Groppali (2001), studiando le comunità ornitiche a differenti distanze da strade asfaltate ha evidenziato come solo ca. il 14% delle specie presenti si mostrava indifferente a tali infrastrutture (in particolare, al disturbo sonoro) contro un 20 % molto sensibile;
- diffusione di organismi esotici con conseguente impatto sulle popolazioni di specie autoctone (predazione, competizione, ecc.);
- aumento del disturbo antropico (facilità di accesso ad aree naturali e conseguente incremento della loro fruizione a scopo ricreativo, ittico-venatorio, agro-silvo-pastorale, ecc.). Nelle regioni tropicali, in quelle aree ove vengono costruite nuove strade che tagliano la foresta, aumenta in modo considerevole la caccia intensiva facilitata da queste nuove vie di accesso (Bright *et al.,* 2003). Anche in zone temperate la costruzione di strade innesca, poi, l'urbanizzazione del territorio e, con essa, una maggiore presenza antropica sul territorio con tutti i disturbi connessi. Fra i tanti esempi, la maggior accessibilità delle aree, indotta da strade e sentieri, figura al primo posto come fonte di disturbo in grado di portare all'abbandono dei siti riproduttivi di Pellegrino (*Falco peregrinus*) nelle Alpi venete (Martignago *et al.,* 1998).

Gli effetti ecologici delle strade sugli ecosistemi limitrofi possono estendersi considerevolmente per oltre 100 m. Si può allora parlare di una *road effect zone* (Forman, 2000). Tali aree costituiscono un *buffer* (un area "cuscinetto") attorno a queste infrastrutture che acuisce l'effetto margine, indotto dalla matrice trasformata, sui frammenti residui di ambiente naturale. Per dare l'idea di quanto possa essere elevato l'impatto prodotto da tale area marginale si pensi che Forman, in questo lavoro, ha stimato a circa un quinto della superficie degli Stati Uniti l'area influenzata ecologicamente dal sistema delle strade pubbliche.

Un indice utile per valutare gli effetti ecologici causati dalle infrastrutture stradali è la densità di strade, espressa in km strade/km^2. Tale rapporto viene anche utilizzato come indicatore di stato da strutture ufficiali, ad esempio, in Spagna (Ministerio de Medio Ambiente, 1996: 42) ed è stato recentemente proposto in Italia ("Densità delle infrastrutture di comunicazione come indicatore di pressione a scala di paesaggio"; ANPA, 2000).

Le strade contribuiscono alla frammentazione degli ambienti naturali ed al disturbo sulla componente biotica attraverso impatti che sono differenti in funzione della tipologia ecosistemica attraversata. Ad esempio, Forman e Deblinger (cit. in Farina, 2001) hanno dimostrato come gli effetti dei disturbi acustici e visivi sulle popolazioni di uccelli risultassero maggiori in ambienti aperti rispetto ad ambienti forestali, probabilmente per l'assenza di una schermatura prodotta dalla vegetazione, nonché per una differente sensibilità delle specie legate a questi habitat.

Gli effetti delle infrastrutture lineari come barriera alla dispersione o come fonte di disturbo non si limitano solo a specie che mostrano una ridotta vagilità. Benché, per esempio, uccelli ed insetti mostrino, in linea generale, una maggiore capacità dispersiva intrinseca, alcune specie appartenenti a questi gruppi, si mostrano sensibili eco-etologicamente alla frammentazione indotta da barriere lineari.

Diversi autori, infatti, hanno sottolineato come, specialmente in aree tropicali, gli spazi aperti tra frammenti forestali, anche in assenza di strutture artificiali, possano costituire una barriera alle dinamiche individuali di alcune specie di uccelli (Machtans *et al.*, 1996). Ad esempio, aree deforestate di poche decine di metri di ampiezza (50-100

metri) possono svolgere una funzione di barriera ai movimenti di molte specie di uccelli ed insetti specializzate (Debinski e Holt, 2000). In Amazzonia aree deforestate ampie circa 70 metri costituiscono una barriera per alcune specie di uccelli insettivori stenoecie (Stratford e Stouffer, 1999) e specie forestali *interior* evitano discontinuità di origine artificiale ampie soltanto 50 metri (Kroodsma cit. in Kluza *et al.,* 2000).
Si è già accennato alla diffidenza etologica di alcune specie di uccelli sensibili tropicali ad attraversare aree deforestate ed inondate artificialmente, ampie anche poche decine di metri (Diamond, 1981). MacArthur (cit. in Margules *et al.,* 1982) citano addirittura un esempio nel quale un *gap* di soli 10 metri in zone tropicali influenza la dispersione di alcune specie di uccelli estremamente specializzate.
In Australia, infine, è stato osservato come alcuni passeriformi mostrino una riduzione nel tasso di dispersione se nell'area di studio sono presenti discontinuità di origine artificiale ampie anche soltanto qualche centinaio di metri (per alcune specie anche solo 60 metri possono impedire la dispersione individuale; Brooker *et al.*, 1999).
Anche nella fascia temperata aree inserite nei paesaggi forestali influenzano negativamente l'abbondanza e la ricchezza degli uccelli migratori neotropicali, in modo particolare di alcune specie legate ai settori più interni delle foreste (come le specie *interior*; Kluza *et al.*, 2000).
Altri gruppi che, a differenza di gran parte degli uccelli, non hanno la possibilità di muoversi tra frammenti "navigando a vista", mostrano una maggiore sensibilità ad eventuali discontinuità ambientali dovute a infrastrutture o a usi del suolo differenti da quelli originari.
Gli anfibi risultano tra i gruppi più vulnerabili, direttamente o indirettamente, alla presenza delle infrastrutture e dei disturbi ad esse connessi (in Scoccianti, 2001, è reperibile una revisione sull'argomento). La lentezza dei movimenti, l'incapacità di avvertire in tempo il pericolo, l'irrigidimento in situazioni di pericolo e l'aumento del tempo di permanenza sulla carreggiata sono fra le cause principali di tipo etologico che rendono vulnerabili gli anfibi al traffico stradale. Sotto il profilo biologico ed ecologico c'è, inoltre, da considerare il particolare ciclo vitale annuale di molte specie appartenenti a questo gruppo che prevede movimenti di migrazione fra habitat differenti. Questi movimenti aumentano le probabilità di incontrare lungo il percorso barriere infrastrutturali. Sempre nella revisione di Scoccianti (2001) si accenna a diversi Autori che indicano come, lungo tratti stradali che attraversano direttrici di spostamento di Rospo comune (*Bufo bufo*), anche un modesto volume di traffico può causare elevate percentuali di mortalità sottolineando l'entità di questo fattore selettivo.
Fahrig *et al.* (1995) hanno osservato, studiando gli effetti della intensità del traffico sugli anfibi anuri, come questi ultimi diminuissero in abbondanza con l'incremento del traffico veicolare e con essa aumentasse la proporzione di individui rinvenuti morti. Inoltre essi suggeriscono che il recente aumento di intensità del traffico in alcune aree geografiche potrebbe essere una delle cause del declino di queste specie.
L'effetto barriera provocato dalle infrastrutture lineari non si limita a strade ed autostrade. Le linee elettriche costituiscono, per molte specie di uccelli di grosse dimensioni, una causa di morte per collisione e folgorazione.
Una ricerca effettuata in Italia da Rubolini *et al.* (2001) ha quantificato l'entità del problema ed elencato le specie interessate (oltre 90 fra cui alcune molto rare e minacciate). Bright *et al.* (2003) sottolineano come dieci delle 25 specie mondiali di otarde sono minacciate a causa della collisioni con i tralicci delle linee elettriche, oltre che dalla trasformazione di habitat e dalla persecuzione diretta.

E’ anche da tempo noto il ruolo selettivo delle linee elettriche nelle aree forestali appenniniche sulle popolazioni di Gufo reale (*Bubo bubo;* Penteriani, 1996). Penteriani ha indicato come l’elettrocuzione risulti tra le principali cause di mortalità imputabili indirettamente all’uomo (in certi contesti essa rappresenta il 75 % delle cause di mortalità) provocando, in alcuni casi, l’abbandono dei siti. Trattandosi di un grande predatore, presente già naturalmente con basse densità, ciò provoca effetti a livello di popolazione su scala regionale. Sempre riguardo a questo rapace notturno, Marchesi *et al.* (2001) hanno, inoltre, riportato come il 39 % dei giovani involati in un’area di studio del Trentino erano deceduti per elettrocuzione.
Infine anche le canalizzazioni artificiali (es., canali di bonifica, di drenaggio e di irrigazione in aree planiziarie) possono costituire una barriera per specie poco vagili. Scoccianti (2001) sottolinea come queste strutture artificiali, se con argini cementati, possono portare ad una frammentazione del territorio con effetti sulla fauna selvatica. Riguardo agli anfibi, questo Autore sottolinea come tali canali possono agire come trappole ecologiche. Infatti gli individui che vi cadono dentro (o vi vengono attirati dalla presenza di acqua), a causa delle pareti levigate, possono non avere possibilità di fuga e perire per disidratazione, annegamento, mancanza di nutrimento.
Infine, anche le strutture artificiali di ridotte dimensioni (reti, manufatti, piccoli canali e scoline, ecc.) possono avere un impatto sulla fauna selvatica di piccole dimensioni (insetti, anfibi, micromammiferi)(Scoccianti, 2001).
Una serie di interventi sono stati ipotizzati per mitigare l'effetto di barriera provocato da queste opere e mantenere o ristabilire le vie naturali di dispersione (tunnel, sottopassi, ecc.: v. ad es.: Yanes *et al.*, 1995). Tuttavia tali opere, oltre ad essere necessariamente specifiche per le diverse esigenze eco-etologiche delle specie, possono rivelarsi complesse da attuare e non risolvere le conseguenze ecologiche, in alcuni casi irreversibili, derivanti dalla presenza delle opere artificiali, (Clevenger e Waltho, 2000; Trombulak e Frissell, 2000). In ogni caso, riguardo agli interventi di superamento delle barriere da infrastrutture esiste una bibliografia specifica alla quale si rimanda (cfr., ad esempio, Dinetti, 2000).

Bibliografia:
(tutti gli articoli citati sono a disposizione: c.battisti@provincia.roma.it)

Aa. Vv., 2001. Le foreste della Pianura Padana. Un labirinto dissolto. Quaderni Habitat, Ministero dell’Ambiente, Museo Friulano di Storia Naturale, 154 pp.

Andrén H., 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. Oikos, 71: 355-366.

Battisti C., 2003. Habitat fragmentation, fauna and ecological network planning: toward a theoretical conceptual framework. Italian Journal of Zoology, 70: 241-247.

Battisti C., 2004. Frammentazione ambientale, Connettività, Reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica. Provincia di Roma, Assessorato alla Politiche agricole, ambientali e Protezione civile, Stilgrafica spa, 248 pp.

Benitez-Malvido J., 1998. Impact of fodiamondrest fragmentation on seedling abundance in a tropical rain forest. Conserv. Biol., 12: 380-389.

Bennett A.F., 1999. Linkages in the landscapes. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. X + 254 pp.

Bolger D.T., Alberts A.C., Soulé M.E., 1991. Occurrence patterns of bird species in habitat fragments: sampling, extinction, and nested species subset. Am. Nat., 137: 155-166.

Bright C., Flavin C., Gardner G., MacDonald M., McGinn A.P., Nierenberg D., Sampat P., Sawin J., O'Meara Sheehan M., Starke L., Youth H., 2003. State of the World 2003. Stato del pianeta e sostenibilità. Rapporto annuale. Edizioni Ambiente, WWF Italia.

Brooker L., Brooker M., Cale P., 1999. Animal dispersal in fragmented habitat: measuring habitat connectivity, corridors use, and dispersal mortality. Conservation Ecology [on line], 3: 4.

Clevenger A.P., Waltho N., 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. Conserv. Biol., 14: 47-56.

Davies K.F., Gascon C., Margules C.R., 2001. Habitat fragmentation: consequences, management, and future research priorities. In: Soulé M.E., Orians G.H., 2001 (eds.). Conservation biology. Research priorities for the next decade. Society for Conservation Biology, Island Press: 81-97.

Debinski D.M., Holt R.D., 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. Conservation Biology, 14: 342-355.

Diamond J.M., 1975. The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. Biol. Conserv., 7: 129-145.

Dinetti M., 2000. Infrastrutture ecologiche. Il Verde editoriale, Milano.

Esseen P.-A., Renhorn K.-E., 1998. Edge effects on an epiphytic lichen in fragmented forests. Conserv. Biol., 12: 1307-1317.

Fahrig L., 1997. Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. Journal of Wildlife Management, 61: 603-610.

Fahrig L., 2003. Effect of habitat fragmentation on biodiversity. Annu. Res. Ecol. Evol. Syst., 34: 487-515.

Fahrig L., Pedlar J.H., Pope S.E., Taylor P.D., Wegner J.F., 1995. Effect of road traffic on amphibian density. Biol. Conserv., 73: 177-182.

Farina A., 2001. Ecologia del paesaggio. UTET Libreria, Torino.

Forman R.T.T., 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. Conserv. Biol., 14: 31-35.

Frank B., Battisti C., 2005. Area effect on bird communities, guilds and species in a highly fragmented forest landscape of Central Italy. Italian Journal of Zoology, 72: 297-304.

Gill J.A., Sutherland W.J., 2000. Predicting the consequences of human disturbance from behavioural decisions. In: Gosling M.L., Sutherland W.J. (eds.).

Behaviour and Conservation. Conservation Biology Series 2. Cambridge Univ. Press, Cambridge: 51-64.

Goss-Custard J.D., Stillman R.A., West A.D., Mcgrorty S., Le V. Dit Durrell S.E.A., Caldow R.W.G., 2000. The role of behavioural models in predicting the ecological impact of harvesting. In: Gosling M.L., Sutherland W.J. (eds.). Behaviour and Conservation. Conservation Biology Series 2. Cambridge Univ. Press, Cambridge: 65-82.

Groppali R., 2001. Autostrade e avifauna. Avocetta, 25: 116.

Haddad N.M., 1999. Corridor use predicted from behaviors at habitat boundaries. Am. Nat., 153: 215-227.

Harris L.D., Silva-Lopez G., 1992. Forest fragmentation and the conservation of biological diversity. In: Fiedler P.L., Jain S.K. (eds.). Conservation Biology. Chapman and Hall, New York and London: 197-237.

Kluza D.A., Griffin C.R., DeGraaf R.M., 2000. Housing developments in rural New England: effects on forest birds. Animal Conserv., 3: 15-26.

Laurance W.F., Yensen E., 1991. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. Biol. Conserv., 55: 77-92.

Locatelli R., Paolucci P., 1998. Il Riccio (Erinaceus europaeus L., 1758) nel Parco regionale dei Colli Euganei (Padova): alimentazione e impatto del traffico stradale. In: Bon M., Mezzavilla F. (red.). Atti 2° Convegno Faunisti Veneti, Boll. Museo civ. St. Nat. Venezia, 48 (suppl): 94-99.

Lorenzetti E., Battisti C., 2006. Area as component of habitat fragmentation: corroborating its role in breeding bird communities and guilds of oak wood fragments in Central Italy. Revue d'Écologie (Terre Vie), 6: 53-68.

Lovejoy T.E., Bierregaard R.O. Jr., Rylands A.B., Malcolm J.R., Quintela C.E., Harper L.H., Brown K.S. Jr., Powell A.H., Powell G.V.N., Schubart H.O.R., Hays M.B., 1986. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. In: Soulé M.E. (ed.). Conservation Biology. The science of scarcity and diversity. Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachussets: 257-285.

Machtans C.S., Villard M.-A., Hannon S.J., 1996. Use of riparian buffer strips as a movement corridors by forest birds. Conserv. Biol., 10: 1366-1379.

Marchesi P., Pedrini P., Sergio F., Garavaglia R., 2001. Impatto delle linee elettriche sulla produttività di una popolazione di Gufo reale Bubo bubo. Avocetta, 25: 130.

Margules C., Higgs A.J., Rafe R.W., 1982. Modern biogeographic theory: are there any lessons for nature reserve design? Biol. Conserv., 24: 115-128.

Martignago G., Zangobbo L., Silveri G., 1998. Status del Pellegrino (Falco peregrinus) sul Massiccio del Grappa. In: Bon M., Mezzavilla F. (red.). Atti 2° Convegno Faunisti Veneti, Boll. Museo civ. St. Nat. Venezia, 48 (suppl): 174-177.

McGregor P.K., Peake T.M., Gilbert G., 2000. Communication, behaviour and conservation. In: Gosling M.L., Sutherland W.J. (eds.). Behaviour and Conservation. Conservation Biology Series 2. Cambridge Univ. Press, Cambridge: 261-280.

Ministerio de Medio Ambiente, 1996. Sistema español de indicatores ambientales: subáreas de biodiversidad y bosque. Serie monografias, Madrid, España, 79 pp.

Penteriani V., 1996. Il Gufo reale. Edagricole, Calderini, Bologna, 172 pp.

Posillico M., Petrella A., Sammarone L., Potena G., 2002. Piano preliminare di conservazione dell'Orso bruno (Ursus arctos L. 1758). Prodotto identificabile del Progetto LIFENAT 99/IT/006244. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Commissione Europea, 48 pp.

Reed R.A., Johnson-Barnard J., Baker W.L., 1996. Fragmentation of a forested Rocky mountain landscape, 1950 - 1993. Biol. Conserv., 75: 267-277.

Romano B., 2000. Continuità ambientale. Andromeda editrice, Colledara (TE), 239 pp.

Rubolini D., Gustin M., Garavaglia R., Bogliani G., 2001. Uccelli e linee elettriche: collisione, folgorazione e ricerca in Italia. Avocetta, 25: 129.

Saunders D.A., Hobbs R.J., Margules C.R., 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. Conserv. Biol., 5: 18-32.

Schonewald-Cox C., Buechner M., 1992. Park protection and public roads. In: Fiedler P.L., Jain S.K. (eds.). Conservation Biology. Chapman and Hall, New York and London: 373-395.

Scoccianti C., 2001. Amphibia: aspetti di ecologia della conservazione. WWF Italia, Sezione Toscana. Editore Guido Persichino Grafica, Firenze: XIII+430 pp.

Spellerberg I.F., 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. Global Ecol. Biogeogr. Lett., 7: 317-333.

Spellerberg I.F., Sawyer J.W.D., 1999. An introduction to applied biogeography. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 243 pp.

Stratford J.A., Stouffer P.C., 1999. Local extinctions of terrestrial insectivorous birds in a fragmented landscape near Manaus, Brazil. Conserv. Biol., 13: 1416-1423.

Trombulak S.C., Frissel C.A., 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and acquatic communities. Conserv. Biol., 14: 18-30.

Villard M.-A., Trzcinski M.K., Merriam G., 1999. Fragmentation effects on forest birds: relative influence of woodland cover and configuration on landscape occupancy. Conservetion Biology, 13: 774-783.

Verner J., 1984. The guild concept applied to management of bird populations. Environmental Management, 8: 1-14.

Wilcove D.S., McLellan C.H., Dobson A.P., 1986. Habitat fragmentation in the temperate zones. In: Soulé M.E. (ed.). Conservation Biology. Sinauer Associates Inc.. Sunderland, Massachussets: 237-256.

Woodroffe R., Ginsberg J.R., 2000. Ranging behaviour and vulnerability to extinction in carnivores. In: Gosling M.L., Sutherland W.J. (eds.). Behaviour and Conservation. Conservation Biology Series 2. Cambridge Univ. Press, Cambridge: 125-140.

Yanes M., Velasco J., Suárez F., 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. Biol. Conserv., 71: 217-222.

La selezione di indicatori a livello di specie nella pianificazione/ progettazione di infrastrutture lineari

Corrado Battisti
Provincia di Roma, Ufficio Ambiente

Il tema degli indicatori nelle scienze ambientali e nella pianificazione è quanto mai attuale (cfr. ANPA, 2000) e, recentemente, a livello nazionale, un gruppo di lavoro in seno alla Associazione Analisti Ambientali (in collaborazione con la Società Italiana di Ecologia) sta affrontando il tema del ruolo degli indicatori a livello ecosistemico nelle scienze del territorio.
La pianificazione di rete ecologica, e nello specifico, la progettazione di infrastrutture lineari sul territorio necessitano quanto mai di strumenti capacità di fornire efficacemente una informazione sintetizzando un determinato numero di caratteristiche. Queste ultime sono relative allo stato dei fattori determinanti delle trasformazioni territoriali (le *driving forces* o *drivers*), alle pressioni, allo stato e alle variazioni di stato di determinati fattori e processi, all'impatto subìto da specifiche componenti territoriali e alle risposte di vario tipo che possono essere previste per mitigare gli impatti (cfr. lo schema DPSIR dell'Agenzia Europea dell'Ambiente in ANPA, 2000).
La selezione di indicatori può quindi prevedere la definizione di specifici fattori/processi determinanti le trasformazioni territoriali (es., quelli che sono alla base delle trasformazioni dinamiche in un determinato contesto territoriale, di tipo sociale o economico), l'individuazione di indicatori di pressione (ad es., quelli di tipo urbanistico/insediativo che possono consentire una valutazione del grado di "severità" di una matrice paesistica sui frammenti residui; Battisti e Romano, 2005), ma anche di indicatori di stato (esprimibili, ad es., dallo stato attuale delle tipologie ambientali target in termini di superficie, grado di isolamento, forma) e, infine, di indicatori di impatto, in grado di esplicitare la relazione causa-effetto tra pressione, stato e impatto. Per quanto riguarda quest'ultima categoria di indicatori, una selezione a livello di specie può prevedere una definizione delle stesse in funzione della loro sensibilità a specifici parametri componenti del processo di frammentazione. Pertanto, una volta definiti opportuni parametri valutativi (presenza/assenza, abbondanza, ricchezza di specie sensibili) è possibile fornire un'informazione in merito all'impatto subìto dalle popolazioni delle diverse specie, conseguentemente alle avvenute trasformazioni territoriali. Tali specie possono costituire indicatori ma, in alcuni casi, possono essere l'obiettivo stesso della strategia.
E' necessario quindi distinguere attentamente tra categorie di specie che appartengono a gruppi ecologicamente differenti e che possono richiedere strategie di pianificazione/conservazione altrettanto distinte.
Su questa base è possibile così riferirsi a:

1) specie sensibili a elementi lineari di frammentazione (ovvero sensibili a disturbo diretto di tipo fisico-meccanico o indiretto: acustico, luminoso) per le quali è prevedibile l'individuazione di siti/ambiti critici. Tra queste rientrano anche specie generaliste, antropofile, alloctone, oltre che specialiste, che utilizzano in modo multifunzionale le *patches* di mosaici paesistici frammentati. In questo caso è necessario distinguere tra specie che mostrano un interesse conservazionistico ed altre per le quali gli interventi non sono riconducibili a

strategie di conservazione in senso stretto (perché relativi a specie di scarso o nullo interesse ma per le quali è comunque necessario attivarsi per ridurre l'effetto selettivo prodotto dalle infrastrutture).
Nel caso della realizzazione di infrastrutture lineari andrà prestata attenzione al mantenimento delle dinamiche dispersive tra popolazioni di specie di interesse conservazionistico potenzialmente o effettivamente separate dall'opera. Ciò potrà essere realizzato con opportuni interventi puntuali (su "punti focali di attraversamento") o lineari (mitigazione dell'impatto acustico o dei disturbi indotti dall'opera lungo l'asse dell'infrastruttura). E' tuttavia necessario analizzare gli effetti dell'opera anche nei settori paesistici attraversati dall'infrastruttura e non solamente lungo l'asse fisico della stessa. Un effetto margine complesso può infatti permeare anche a distanze considerevoli dall'opera con effetti a breve e lungo termine sulle popolazioni biologiche selezionate.

2) specie sensibili a fattori spaziali e qualitativi a scala di frammento e paesaggio (es., superficie di habitat idonea a scala di frammento/paesaggio, grado di isolamento e collocazione spaziale dei frammenti nel mosaico; qualità/idoneità dei frammenti, sensibilità all'effetto margine e alla "severità" della matrice; cfr. Farina, 2001); in tal caso può essere opportuno individuare le richieste minime, per queste specie, in termini di area e isolamento, nonché la struttura spaziale delle popolazioni (se "patchy", metapopolazioni o "separate populations") e il rapporto tra quest'ultima e la struttura spaziale dei frammenti (cfr. Battisti, 2004 per una revisione). Queste specie possono agire da "ombrello" per un largo seguito di specie. In tal senso le specie target, così selezionate, possono essere assimilate a specie focali che mostrano una sensibili ai fattori area, isolamento, qualità ambientale e al processo di frammentazione (Lambeck, 1997). Tali specie, proprio perché stenoecie e sensibili ai fattori e processi suddetti, sono, generalmente, poco abbondanti in ambienti antropizzati e nei frammenti residui di habitat ove possono aver subito estinzioni locali. La selezione delle specie, attuata con i criteri suindicati, andrebbe attuata sulla base della letteratura scientifica, partendo dalla lista delle specie presenti nell'area e prevedendo, in assenza di dati bibliografici, studi di campo specifici. I dati contenuti negli Atlanti faunistici nonché, se disponibili, lavori biogeografici e di auto- e sinecologia, possono fornire utili informazioni riguardanti, ad es., la presenza e la localizzazione di popolazioni isolate di specie sensibili o il grado di frammentazione dei sub-areali. E' anche possibile individuare specie che, viceversa, risultano favorite dalla frammentazione e, in generale, dall'antropizzazione. Fra queste rientrano le specie antropofile e generaliste con problematiche di controllo demografico, quelle introdotte volontariamente o involontariamente, per le quali è prioritario il controllo, anziché il mantenimento del processo di dispersione (cfr. la revisione in Battisti, 2004).
Alcune infrastrutture lineari possono svolgere la funzione di corridoi di disturbo, favorendo la propagazione di specie sinantropiche in settori paesistici anche estesi, con effetti su molte altre specie in termini di aumento del tasso di predazione e competizione (es., tra le specie alloctone, la Nutria e il Gambero rosso della Louisiana, che utilizzano i sistemi lineari dei canali artificiali per disperdersi su larghe aree). Pertanto, oltre alla individuazione di specie sensibili alle trasformazioni lineari e a scala di paesaggio indotte dalla nuova

infrastruttura è necessario provvedere ad una individuazione di specie sinantropiche, generaliste e/o alloctone che possono beneficiare dalle nuove opere e che costituiscono un problema additivo/moltiplicativo alle componenti ambientali nel sito in esame.

Per questa specie a differenza delle prime, si dovrebbe prevedere un approccio complessivo a scala di paesaggio più che verso singoli siti/ambiti (come ad es., i "punti focali di attraversamento", citati in precedenza.

Nella definizione di indicatori e relative strategie assume un certo interesse la distinzione terminologica tra differenti categorie di specie. Le specie possono essere selezionate perché:

1) oggetto di strategie di conservazione specie/specifiche: in tal caso il criterio di scelta ricade sul grado di minaccia o sull'interesse eco-biogeografico della specie stessa; il processo di frammentazione può essere una fra le minacce alla specie target: in questo caso le specie costituiscono il fine ultimo della strategia e non possono definirsi indicatori in senso stretto se non viene confermato un loro eventuale ruolo "focale" verso altre componenti ambientali;
2) carismatiche: la scelta è dettata da criteri culturali, sociali, politici, ancorché ecologici; la specie può essere sensibile al processo di frammentazione ma il criterio di scelta non è oggettivo;
3) "interessanti" ("interesting species"; Feinsinger, 2001); le specie selezionate sono presumibilmente le più sensibili al processo nell'area di indagine; la selezione si basa sulla letteratura ma non si hanno conferme per l'area di studio sulla loro sensibilità assoluta e relativa;
4) "ombrello" (Andelman e Fagan, 2001); selezione oggettiva delle specie sulla base della loro sensibilità alla superficie di habitat disponibile;
5) "focali" (Lambeck, 1997); selezione oggettiva delle specie (set per specifici ecosistemi) sulla base della loro sensibilità alle componenti della frammentazione (area, isolamento, "qualità" s.l.).

Le specie "interessanti", ombrello e focali costituiscono un mezzo svolgendo un ruolo di indicatore di impatto (processo di frammentazione) benché può risultare progressivamente più difficoltosa (dalle "interessanti" alle "focali") una loro selezione oggettiva.

Una selezione *a priori* di specie sensibili alla frammentazione ambientale può basarsi sulla letteratura scientifica. In Fig. 1 sono riportati i dati originali ottenuti, in via preliminare, dalla revisione di 32 lavori scientifici europei (numero di citazioni di specie ornitiche forestali secondo la loro sensibilità a specifiche componenti spaziali e qualitative della frammentazione antropogenica). E' evidente come per alcune fra queste esistano evidenze oggettive della loro sensibilità alle componenti di questo processo (Battisti e Teofili, 2005). E' anche vero che, ad un approccio di questo tipo, fanno seguito molte limitazioni (contesto di indagine, tipologia ambientale sottoposta a frammentazione, scala e grana di riferimento, ecc.) e può essere necessario integrare il set di specie selezionate con altre appartenenti ad altri gruppi così da ottenere una informazione più ampia sugli impatti del processo in esame. Un altro limite può essere quello di non tenere conto delle differenze geografiche nella sensibilità al processo di queste specie (indicatore non contestualizzato). Di un certo interesse può essere l'approccio seguito da alcuni Autori (es., Hess e King, 2002) che hanno utilizzato il metodo Delphi per la selezione di specie focali nella pianificazione ambientale,

ottenendo informazioni sulle specie da selezionare da un gruppo di esperti, seguendo poi una procedura consolidata (Linstone e Turoff, 1975).
La selezione *a posteriori* di specie sensibili in specifici ambiti territoriali, sulla base di ricerche condotte in aree oggetto di pianificazione, possono richiedere uno sforzo di ricerca elevato. Tali ricerche, tra l'altro, possono non essere risolutive degli impatti provocati dal processo (es., per il campione ridotto analizzato o per la specificità ecologica del gruppo tassonomico indagato) non chiarendo il ruolo delle componenti spaziali della frammentazione o dell'impatto da infrsatruttura sulla presenza e abbondanza delle specie sensibili. Per la selezione di un set di indicatori a livello di specie in questo specifico settore può essere opportuno procedere utilizzando un approccio misto (selezione specie da letteratura; validazione della sensibilità nell'area di studio; metodo Delphi).

Bibliografia:
(disponibile su richiesta)

Andelman S.J, Fagan W.F., 2000. Umbrellas and flagships: Efficient conservation surrogates or expensive mistakes? Proc. Natl. Acad. Sc., 97: S954-S959.

ANPA, 2000. Selezione di indicatori ambientali per i temi relativi alla biosfera. RTI CTN_CON 1/2000. Agenzia Nazionale Protezione Ambiente, Roma.

Battisti C., 2004. Frammentazione ambientale, Connettività, Reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica. Provincia di Roma, Assessorato alla Politiche agricole, ambientali e Protezione civile, Stilgrafica.

Battisti C., Romano B., 2005. Parametri eco-biogeografici e urbanistici di diversità, area, isolamento, disturbo: definizione, confronto e possibili applicazioni in paesaggi frammentati. Pedrotti F., L. Pedrotti (Eds.). Stelvio Seventy Conference, 8-11 settembre 2005, Val di Rabbi (TN): 13.

Battisti C., Teofili C., 2005. Frammentazione forestale, specie sensibili e pianificazione: indicazioni da una analisi bibliografica. Atti XIII Convegno italiano di Ornitologia. Avocetta, n.s. 29: 102.

Farina A., 2001. Ecologia del Paesaggio. Principi, metodi e applicazioni. UTET Libreria, Torino.

Feinsinger P., 2001. Designing field studies for biodiversity conservation. Tha Nature Conservancy Council, Island Press.

Hess G.R., King T.J., 2002. Planning open spaces for wildlife. I. Selecting focal species using a Delphi survey approach. Landsc. Urban Plann., 58: 25-40.

Lambeck R.J., 1997. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. Conserv. Biol., 11: 849-856.

Linstone H.A., Turoff M., 1975. The Delphi Method: techniques and applications. Addison-Wensley, New York.

Lambeck R.J., 1997. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. Conserv. Biol., 11: 849-856.

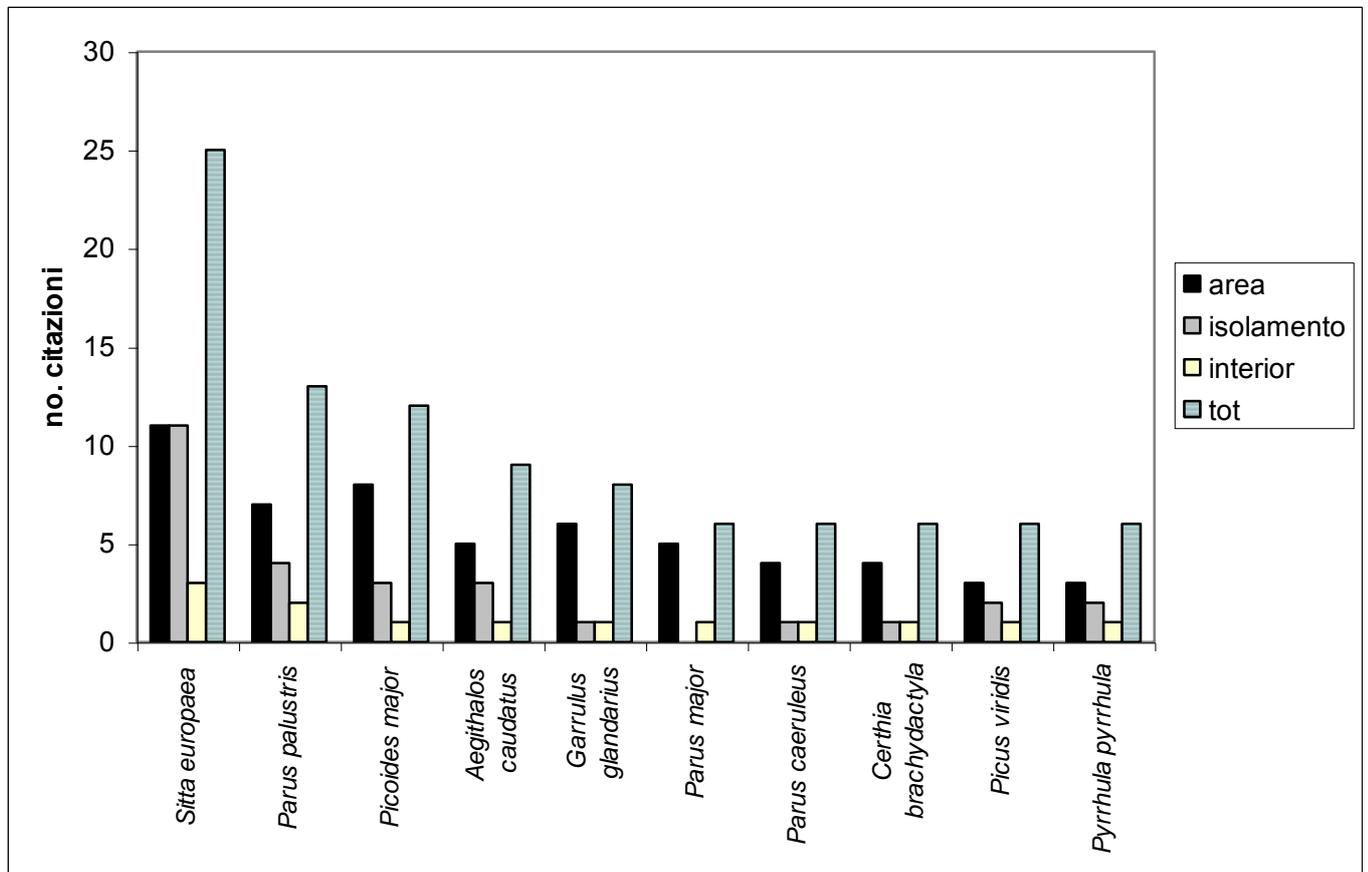



Figura 1 - Numero di citazioni (N = 32 riviste scientifiche europee) di specie ornitiche in base alla loro sensibilità a specifiche componenti della frammentazione forestale (area del frammento, isolamento del frammento, effetto margine; Battisti e Teofili, 2005; Battisti e Teofili, in prep.).

Infrastrutture elettriche, biodiversità e paesaggio

Adel Motawi, Chiara Pietraggi
TERNA SpA

Impatti sulla biodiversità

L'inserimento di una linea elettrica non si caratterizza come un intervento in grado di provocare disturbi o modifiche del territorio tali da comprometterne in maniera irreversibile la naturalità.
Superata la fase di cantiere e, quindi, di realizzazione dell'infrastruttura, infatti, l'ingombro è rappresentato principalmente dai sostegni (in media uno ogni 400 metri, variabile in funzione della morfologia del territorio) che, comunque, non precludono la presenza di fauna e vegetazione bassa. In fase di esercizio, inoltre, la frequentazione dell'area interessata è limitata agli interventi di manutenzione, in genere molto distanziati nel tempo.
Il principale impatto sulla vegetazione consiste nel potenziale taglio di alberi nella fase di realizzazione.
Considerando che nel processo di localizzazione di una nuova linea/stazione elettrica nel territorio, le aree di particolare pregio dal punto di vista vegetazionale (parchi, SIC, aree floristiche, boschi sottoposti a vincolo paesaggistico, ecc.) vengono opportunamente considerate, è giusto affermare che il taglio si riferisce in genere ad un numero limitato di esemplari che non esercita un effetto negativo determinante sulla varietà delle specie vegetali.
Inoltre, uno studio sull'impatto dei tracciati AT in ambienti forestali (A.M.B.E., 1992) ha dimostrato che, soprattutto in zone boschive giovani e/o artificiali (impianti di conifere), i tagli forestali precedenti la posa di una linea elettrica apportano una variazione positiva all'ambiente naturale.
Questo impatto positivo si traduce in un aumento del numero di specie vegetali ed animali lungo quella fascia di transizione tra due ambienti naturali (ecotono), rappresentata dal limite bosco/tracciato e nella diversificazione della struttura della vegetazione.
Numerose specie di uccelli e mammiferi trovano in questi spazi aperti un elemento favorevole, soprattutto come fonte di cibo invernale.
Una gestione appropriata del tracciato, atta a mantenere l'effetto mosaico creato attraverso l'interruzione della continuità del sistema forestale, permette di protrarre nel tempo i risultati ottenuti.
Questo intervento sull'ambiente naturale rappresenta, comunque, una fase delicata che necessita di un'accurata valutazione dei possibili effetti.
Particolarmente discusso e conosciuto è il problema relativo all'interazione tra avifauna e linee elettriche; a tal proposito è indispensabile operare una distinzione tra le linee MT (media tensione, di pertinenza della rete di Distribuzione) e le linee AT/AAT (alta ed altissima tensione, di pertinenza della rete di Trasmissione).
Nel caso delle linee a MT, in presenza di conduttori non protetti da guaina isolante, rappresentano fattori di rischio di elettrocuzione la geometria dei sostegni, che rende facile il contatto con i pali e la distanza tra i conduttori, inferiore all'apertura alare degli uccelli potenzialmente interessati.

Particolarmente pericolosi sono gli interruttori aerei, scambiati spesso dagli uccelli per posatoi ove sostare o, addirittura, nidificare.
Al contrario, le geometrie dei sostegni AT/AAT determinano tra i conduttori distanze tali (oltre sei metri in larghezza ed almeno quattro in altezza) da rendere improbabile il rischio di elettrocuzione. Il maggior pericolo per l'avifauna nel caso di linee AT/AAT è l'ostacolo al volo rappresentato dai sostegni soprattutto quando, localizzati all'interno di superfici boscate, hanno un'altezza superiore a quella delle chiome degli alberi.
Gli elettrodotti non hanno un impatto soltanto sull'avifauna, ma anche sulla pedofauna ed, in particolare, su mesofauna e macrofauna; in molti casi, infatti, soprattutto su suoli dedicati ad attività agricole, la presenza dei tralicci garantisce a questi organismi un habitat indisturbato, al riparo dalle lavorazioni del terreno e dai passaggi di persone e macchinari.

Impatti sul paesaggio

Una nuova linea elettrica in alta e/o altissima tensione (AT/AAT) ha un innegabile impatto visivo; ciò che più influisce sulla percezione dell'intervento è, in genere, l'altezza e la distribuzione spaziale dei sostegni, elementi di maggiore evidenza visiva.
La dimensione dei sostegni varia in base alla tensione dell'elettrodotto, alla tecnologia adottata ed all'orografia del territorio; in base a queste caratteristiche è possibile limitare l'impatto dell'opera attraverso una pianificazione ed una progettazione che tengano conto delle problematiche di inserimento nell'ambiente.

Alcuni suggerimenti vengono dalla Norma CEI 11-61 del 2000 "Guida all'inserimento ambientale delle linee aeree esterne e delle stazioni elettriche" che consiglia, tra l'altro, di:

- collocare i sostegni in modo che non siano isolati, ma integrati nella vegetazione: questa soluzione effettua un'azione sinergica con l'effetto di trasparenza che tiene conto delle superfici metalliche rispetto alla superficie individuata dal contorno del traliccio;
- inserire i tracciati lungo le valli a mezzacosta, così che le linee abbiano come sfondo la parete montuosa e, dove possibile, come schermo la vegetazione naturale;
- privilegiare i versanti prevalentemente in ombra.

L'eventuale presenza di altri detrattori paesaggistici (raccordi stradali, depuratori, poli industriali, ecc.) riduce notevolmente l'impatto visivo della linea, che si inserisce in un territorio già infrastrutturato.
Per quanto riguarda le stazioni elettriche l'impatto è dato principalmente dalle loro dimensioni, variabili a seconda del numero di linee in ingresso ed in uscita, dalla loro tensione e tecnologia (aeree od in cavo interrato), dal numero di trasformazioni previste.

A tal proposito la stessa Norma CEI esorta a:

- cercare di inserire le stazioni il più possibile in prossimità delle linee di alimentazione, al fine di limitare l'occupazione di suolo;
- inserire la stazione in aree già destinate ai servizi;
- evitare ingenti movimenti terra sfruttando i naturali terrazzamenti del territorio per mascherare l'impianto.

La VAS in TERNA: applicazione alla pianificazione dello sviluppo della rete elettrica di trasmissione nazionale

Adel Motawi, Chiara Pietraggi
TERNA SpA

L'attività di sperimentazione della VAS intrapresa da TERNA è legata alla necessità di permettere alle Regioni interessate sul PdS di formulare un parere in merito agli aspetti di localizzazione dei nuovi tratti di rete, alla razionalizzazione dei percorsi o ad eventuali dismissioni di tratti in esercizio (Decreto MICA del 22/12/2000, art.2, c.1).
In linea generale la VAS dei piani e programmi vuole accertare la sostenibilità e la compatibilità ambientale dello strumento di pianificazione, nonché valutare l'impatto complessivo e sinergico delle singole opere che li compongono sul territorio.
La VAS, pertanto, affronta numerose problematiche in una fase anticipata e consente di intervenire su alternative di piano in uno stadio caratterizzato da un elevato grado di flessibilità.

Nell'ambito del settore elettrico gli obiettivi della VAS si possono riassumere sostanzialmente in:

- supporto nella definizione di macroalternative e loro valutazione;
- integrazione tra la pianificazione territoriale/ambientale e quella elettrica;
- verifica preventiva della fattibilità territoriale e ambientale degli sviluppi della RTN;
- coinvolgimento e corresponsabilizzazione delle Amministrazioni locali;
- possibilità di intervenire su "ipotesi di progetti" ancora in fase preliminare con scelte localizzative non ancora definite;
- creazione di presupposti per l'accettazione dei nuovi impianti;
- possibilità di concertare tracciati all'interno dei corridoi individuati.

Nel 2002 il Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN, ora TERNA) ha iniziato un processo volontario (e pilota) di pianificazione nazionale integrata con la Valutazione Ambientale, proponendo alle Regioni italiane una sperimentazione allo scopo di sviluppare in maniera concertata le soluzioni elettriche per le esigenze di rete.
La prima Regione a siglare un protocollo d'intesa per la sperimentazione VAS è stata il Piemonte nel 2002.
A questa hanno fatto seguito poi le Regioni Calabria, Emilia Romagna e Lombardia nel 2003, Sicilia, Campania e Basilicata nel 2004, Umbria, Toscana e Marche nel 2005, Sardegna e provincia autonoma di Trento nel 2006.
La dimensione interdisciplinare della VAS ha fatto poi emergere l'esigenza di coinvolgere le Istituzioni direttamente o indirettamente implicate nella pianificazione elettrica nazionale; è così che nel 2003 è stata stipulata una convenzione per lo scambio dati cartografici con il Ministero per la Tutela del Territorio (MATT), istituzionalizzata con l'attivazione di un Tavolo tecnico al quale, nel 2005, si sono aggiunti il Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC), il Ministero delle Attività Produttive (MAP,

ora Ministero per lo Sviluppo Economico MSE) e il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (MIT, ora Ministero delle Infrastrutture).

L'odierna articolazione del processo di VAS (Figura 1) è il prodotto del lavoro di condivisione del Tavolo tecnico con 10 Regioni e 4 Ministeri; la peculiarità del processo è rappresentata dalla cadenza annuale, che depone a favore del monitoraggio consentendo tarature annuali a livello di processo e di piano.

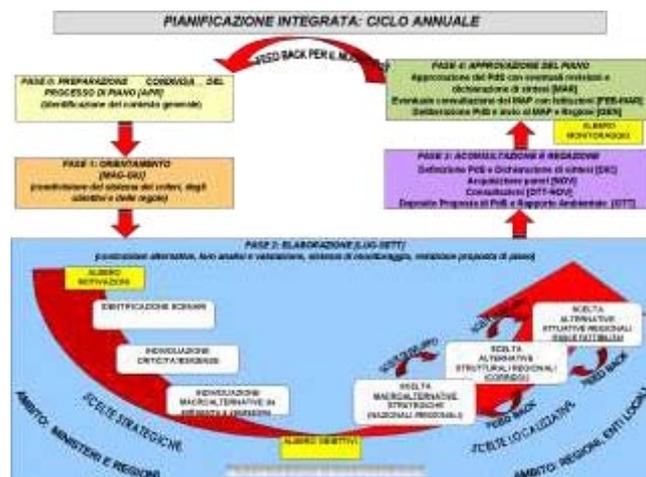



Figura 1 - Ciclo annuale del processo di VAS

Il processo include alcuni momenti di confronto formalizzati, rispettivamente in apertura del processo, al termine della fase di orientamento (*scoping*), al termine della consultazione, per dare indicazioni sulla revisione del piano o di sue porzioni e per l'individuazione delle misure di mitigazione e degli eventuali interventi di compensazione ed eventualmente in fase di approvazione del piano, su richiesta di almeno una delle Istituzioni, qualora permangano criticità irrisolte.

Uno degli aspetti più qualificanti dell'intero processo di VAS applicato alla pianificazione della Rete elettrica è l'approccio concertativo, che prevede la condivisione della localizzazione delle opere con le Amministrazioni locali; gli studi necessari si avvalgono di dati ambientali e territoriali, che possono essere ulteriormente utilizzati nella successiva fase di VIA.
In altre parole, la VIA si inserisce a valle di un processo in cui alcune scelte localizzative sono state già concertate e dove numerose informazioni ambientali, territoriali e programmatiche sono già state reperite e valutate.
Il passaggio tra le due procedure si identifica nella fase di maggior dettaglio della VAS, ossia nella definizione della fascia di fattibilità di tracciato, ambito territoriale all'interno del quale le opere previste dal PdS saranno inserite. Le informazioni derivanti da quest'ultima fase del processo di VAS potranno fornire quasi integralmente i contenuti previsti dallo *scoping*, introdotto dalla Direttiva 97/11/CE come procedura con la quale viene definita l'informazione necessaria tale da consentire la valutazione degli impatti significativi diretti ed indiretti dell'opera sulle componenti ambientali ed antropiche.

A solo titolo di esempio, indicativo ma non esaustivo, si riportano alcuni contenuti, trattati approfonditamente nella VAS, che possono essere inseriti e valorizzati nello Studio di Impatto Ambientale:

- la *motivazione dell'opera* può essere ripresa sia nel quadro di riferimento programmatico che nel progettuale;
- la *verifica di coerenza con la pianificazione*, rappresenta gran parte del quadro di riferimento programmatico;
- l'*analisi delle alternative* con la conseguente individuazione delle "Fasce di fattibilità" può essere ripresa sia nel quadro di riferimento progettuale che in quello ambientale;
- le misure generali di *mitigazione e compensazione* individuate in fase di VAS possono essere riprese nel quadro di riferimento ambientale.

A questi aspetti va comunque a sommarsi la vasta base di dati ambientali e territoriali comune che dalla VAS può passare il suo contenuto alla VIA.

-

Ottimizzazione localizzativa delle infrastrutture energetiche

Adel Motawi, Chiara Pietraggi
TERNA SpA

Il processo metodologico che TERNA applica in via sperimentale già da diversi anni per individuare la localizzazione più sostenibile delle opere previste nel suo Piano di Sviluppo (PdS), si articola in tre fasi: Strategica, Strutturale ed Attuativa.

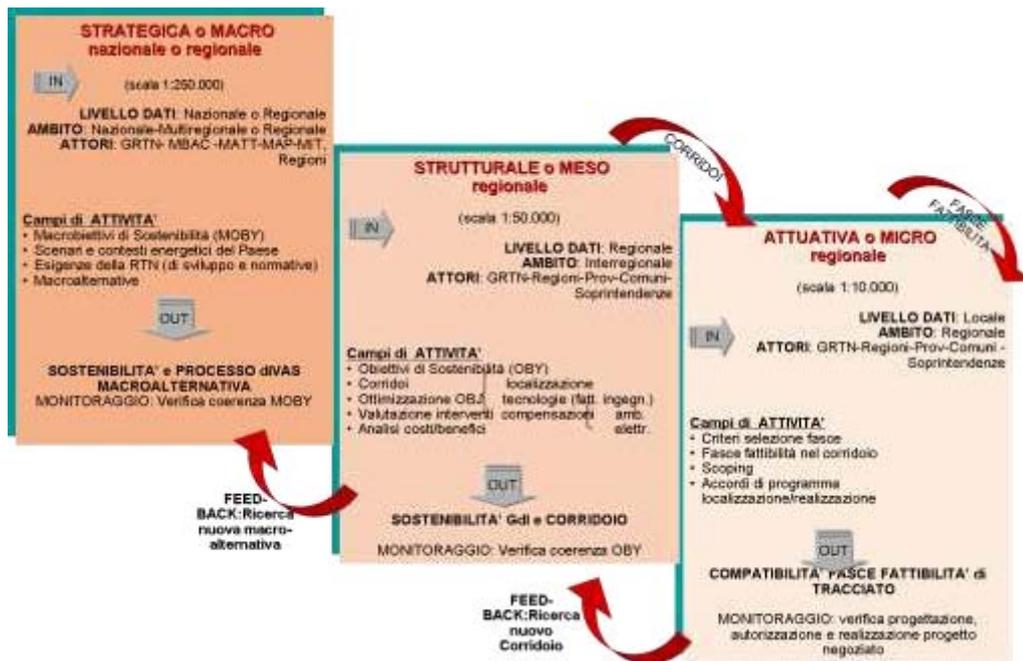



Figura 1 - Livelli del processo metodologico di localizzazione delle opere elettriche.

Fase Strategica o Macro: valutazione di un'esigenza elettrica secondo criteri che soddisfino gli obiettivi statutari di TERNA ispirati alla Sostenibilità, per giungere all'individuazione della migliore opzione strategica (*macroalternativa*).
Fase Strutturale o Meso: l'opzione strategica maturata nella fase precedente va contestualizzata sul territorio; in tale fase aumenta il dettaglio di analisi che consente di individuare, tra un ventaglio di alternative, i corridoi[20] che presentano assenza o minori preclusioni all'inserimento di infrastrutture elettriche nel territorio, ottemperando agli obiettivi condivisi di sostenibilità e compatibilità definiti in scala adeguata.
Fase Attuativa o Micro: ottimizzazione della localizzazione dell'opera nel corridoio precedentemente individuato attraverso la concertazione con la Regione e gli EELL; in tale fase, caratterizzata da una forte componente concertativa, vengono individuate *le fasce di fattibilità*[21] nell'ambito del corridoio precedentemente individuato e le

[20] Per *corridoio* si intende una porzione di territorio, opportunamente dimensionata (larga anche qualche chilometro), che presenta i migliori requisiti tecnici, ambientali, territoriali ed economici idonei a ospitare infrastrutture elettriche (elettrodotti e stazioni);
[21] Per *fascia di fattibilità* si intende una porzione del corridoio larga anche fino a 200 metri che risulta rispettare i criteri localizzativi concertati con gli EELL e che emerge nell'ambito dei sopralluoghi effettuati con gli stessi.

prescrizioni necessarie a raggiungere il miglior inserimento ambientale con il minor conflitto ambientale e sociale.

Criteri ambientali adottati: i criteri ERA

I criteri ambientali e territoriali adottati per l'individuazione delle direttrici preferenziali e, conseguentemente, per la definizione del corridoio percorribile da linee AT/AAT, discendono da un accurato approfondimento e da un continuo studio atto ad affinare la metodologia messa a punto con l'esperienza compiuta dalla stessa TERNA e quella esistente in campo internazionale.
È bene specificare che, oggetto di indagine, non è un possibile tracciato di una linea elettrica, bensì una area (corridoio) che presenti requisiti tecnici, ambientali e territoriali idonei ad ospitare tale tracciato. Il dettaglio e, dunque, la scala di studio sono tali da permettere un approfondimento adeguato, senza perdere di vista una visione complessiva dell'ambito indagato. Si ritiene in genere che la scala 1:50.000 sia quella più idonea allo scopo; tuttavia, per particolari esigenze di rappresentazione cartografica possono essere adottate scale più o meno dettagliate.
Inoltre, essendo un corridoio l'*output* finale dell'indagine, si dà maggiore peso all'analisi dei vincoli che, con un diverso grado di cogenza e di preclusione, insistono sul territorio; ciò in quanto altri aspetti di maggior dettaglio, come ad es. l'ottimizzazione dell'impatto sulla vegetazione, necessitano di una collocazione puntuale e saranno approfonditi nella fase di definizione dei tracciati stessi.
La metodica di studio impiegata discrimina il territorio in base all'attitudine ad ospitare o meno l'inserimento di un impianto elettrico distinguendo, mediante i criteri ERA, tre macrocategorie: Esclusione, Repulsione, Attrazione.
In linea di principio un'area di Esclusione (E) presenta una incompatibilità all'inserimento di una linea elettrica talmente alta da condizionarne pesantemente l'utilizzo per un corridoio ambientale. Solo in situazioni particolari è quindi possibile prendere in considerazione tali aree nella fase di individuazione dei corridoi.
Le aree cosiddette di Repulsione (R) sono quelle che presentano un grado più o meno elevato di resistenza all'inserimento dell'opera; rappresentano quindi una indicazione di problematicità, ma possono essere utilizzate per i corridoi, salvo il rispetto di prescrizioni tecniche preventivamente concertate.
Le aree di Attrazione (A) sono da considerarsi, in linea di principio, preferenziali per ospitare corridoi per impianti elettrici.
Le tre categorie sono poi articolate su diversi livelli, (ad esempio: E1, E2, E3, etc.), che facilitano la classificazione delle aree esaminate ad un dettaglio maggiore; tale impostazione favorisce non solo la fase di individuazione delle direttrici, ma anche quella di selezione del corridoio che presenta il più elevato grado di compatibilità/sostenibilità.
I criteri ERA sono rappresentati schematicamente per macrocategorie nella Tabella 1

CATEGORIE	LIVELLI	CLASSIFICAZIONE
ESCLUSIONE	**E1**	Vincolo normativo di esclusione assoluta
	E2	Vincolo stabilito mediante accordi di merito (in quanto la normativa non ne esclude l'utilizzo per impianti elettrici – ad es. urbano continuo)

	E3	Vincolo stabilito limitatamente al posizionamento di basamenti e/o strutture sulle aree in oggetto; assenza di vincolo al sorvolo aereo delle predette aree da parte dei conduttori.
	E4	Vincolo stabilito da accordi di merito con riferimento alle aree protette della Regione (parchi naturali regionali, riserve naturali orientate, integrate e speciali, aree attrezzate; parchi naturali nazionali), salvo che venga dimostrata la strategicità dell'opera proposta (trasformazione della classe di criterio da Esclusione in Repulsione R1
REPULSIONE	R1	Ipotesi realizzativa solo in assenza di alternative e previo rispetto del quadro prescrittivo
	R2	Ipotesi realizzativi anche in presenza di altre alternative previo rispetto del quadro prescrittivo
ATTRAZIONE	A2	Ipotesi realizzativa previa verifica di capacità di carico del territorio
	A1	Ipotesi realizzativi di migliore compatibilità paesaggistica

Tabella 1 - Rappresentazione sintetica dei criteri ERA.

Al fine di chiarire la struttura della classificazione ERA e l'estrema adattabilità alle diverse realtà regionali, si riporta di seguito una breve analisi condotta sulle regioni che hanno ufficialmente condiviso i criteri nell'ambito di un tavolo tecnico attivato in seguito alla stipula del Protocollo sull'applicazione della VAS: Piemonte, Calabria, Friuli, Campania, Sicilia e Marche.
La Tabella 2 elenca tutti i tematismi utilizzati nelle Regioni citate e classificate con i criteri ERA unitamente alla loro frequenza di utilizzo, ossia in quante Regioni quel tematismo è stato considerato.

	CRITERI ERA	**Frequenza di utilizzo**
1	Edificato urbano continuo (secondo analisi di uso del suolo, CO.RI.NE, MOLAND…)	5
2	Edificato urbano e nuclei abitati discontinui (secondo uso del suolo, CO.RI.NE, MOLAND…)	5
3	Urbanizzato estratto da CTR e riadattato scala 1:100.000	1
4	Residenziale dei grandi edifici	1
5	Residenziale	1
6	Aree verdi urbane o a verde privato	2
7	Aree a destinazione d'uso turistica o alberghiera e ricettivo, aree sportive, ospedali	1
8	Aree di interesse militare	6
9	Aeroporti	6
10	Parchi nazionali ex L. 394/9. Parchi naturali regionali, riserve naturali integrali, speciali e orientate, aree attrezzate.	6
11	Zone di salvaguardia da Leggi Regionali	2
12	SIC (Direttiva 92/43/CEE "Habitat") e ZPS (Direttiva 79/409/CEE "Uccelli")	6
13	Emergenze botanico-vegetazionali	1
14	Emergenze geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche	1

15	Aree di valore paesistico-ambientale ex PTR, PTCP, PTO, e Piani paesistici	6
16	Beni paesaggistici con provvedimento amministrativo (già Legge 1497/39), art. 136 D.Lgs. 42/2004	6
17	Beni paesaggistici ex lege (già Legge Galasso), art. 142 D.Lgs. 42/2004	6
18	Crinali di prima classe o di classe superiore	1
19	Beni culturali (ex Legge 1089/39), art.10 D.Lgs. 42/2004	6
20	Luoghi di memoria storica	1
21	Edifici e manufatti storici	1
22	Aree storico-artistico-culturali, insiemi di beni architettonici ex PTR, PTCP, PTO e PRGC	6
23	Posatoi dell'avifauna	1
24	Parchi comunali	1
25	Aree tutelate	2
26	Aree di reperimento	1
27	Zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale	2
28	Spiagge, dune, sabbie (più larghe di 100 m)	4
29	Superfici lacustri	6
30	Aree caratterizzate da frane attive, conoidi attivi a pericolosità molto elevata, e valanghe	6
31	Aree in fascia A del PAI	5
32	Aree in zone di esondazione e dissesto morfologico di carattere torrentizio di pericolosità elevata	4
33	Aree in fascia B del PAI	5
34	Aree in zone di esondazione e dissesto morfologico di carattere torrentizio di pericolosità media (Em del PAI Sistema informativo prevenzione rischi)	5
35	Aree a rischio di inondazione (R1, R2, R3 e R4)	1
36	Aree in zone di esondazione e dissesto morfologico di carattere torrentizio di pericolosità media (Em del PAI Sistema informativo prevenzione rischi)	1
37	Aree di attenzione per pericolo d'inondazione	1
38	Vincolo idrogeologico	1
39	Zone vitivinicole D.O.C.G.	5
40	Zone vitivinicole D.O.C., aree D.O.P. ed aree di produzione ad I.G.P.	2
41	Zone umide	2
42	Zone caratterizzate da colture permanenti da preservare di cui ai nn. 21, 22, 23, 24, 25, 27 e 42 del codice CUAS. Aree irrigue non insistenti su seminativi (codice CUAS 1XXX). Zone e/o colture caratterizzate da marchi DOCG, DOC e DOP	1
43	Aree a vegetazione arborea o arbustiva di cui ai nn. 26, 41, 51, 52, 53, 63, 641 e 642 del codice CUAS). Zone e/o colture caratterizzate da marchi IGP e IGT	1
44	Corridoi energetici, tecnologici ed infrastrutturali preesistenti	6
45	Strade di scorrimento veloce	1
46	Boschi di conifere	2
47	Boschi misti	4
48	Foreste demaniali	1
49	Fascia di 300 m in asse a un tracciato oggetto di ripotenziamento	6
50	Aree industriali attrezzate, poli integrati di sviluppo, parchi tecnologici agricole (aree ASI e PIP)	6

Tabella 2 - Tematismi utilizzati nelle regioni Piemonte, Calabria, Friuli, Campania, Sicilia e Marche per la classificazione ERA.

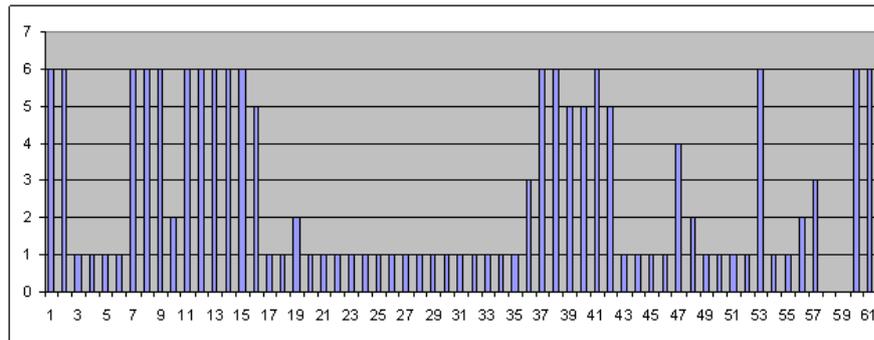



Grafico 1 - Rappresentazione della frequenza di utilizzo di ogni tematismo.

La tabella evidenzia che i tematismi presenti in tutte, o quasi tutte le Regioni sono quelli derivati dalle cartografie di base utilizzate per le analisi ambientali. Questi, in genere:

- hanno fonte anche nazionale;
- sono disponibili e reperibili senza troppa difficoltà;
- hanno una scala non troppo dettagliata (1:100.000/50.000).

Fanno eccezione le aree a *dissesto idrogeologico*, in genere fornite dalle Autorità di Bacino locali con una scala più dettagliata e le *fasce di rispetto dei ripotenziamenti*, definite ed individuate internamente.

Un dato molto interessante è quello relativo ai tematismi utilizzati in un'unica Regione: ciò mostra cosa succede quando una metodologia generale viene calata sul territorio ed a questo adattata e, soprattutto, rivela l'importante ruolo che le Amministrazioni coinvolte hanno nel processo di concertazione e condivisione dei criteri localizzativi. I tematismi qui riportati, infatti, derivano da:

- presenza di peculiarità regionali importanti dal punto di vista naturalistico e ambientale (posatoi dell'avifauna in Piemonte, aree di reperimento in Friuli) o culturale (luoghi di memoria storica nelle Marche);
- ulteriori suddivisioni all'interno di un tematismo presente anche nelle altre Regioni (residenziale e residenziale dei grandi edifici nell'urbano e strade veloci nei corridoi infrastrutturali del Friuli);
- maggiori livelli di tutela ambientale e paesaggistica (emergenze botanico vegetazionali e geomorfologiche nelle Marche) fissati dagli strumenti di pianificazione locali.

A questo livello la fonte non è più nazionale, ma prettamente regionale o addirittura provinciale; è possibile una maggiore difficoltà di reperimento; la scala di riferimento dei tematismi è di maggior dettaglio (si può arrivare fino all'1:25.000).

Tornando ai criteri ambientali adottati per la definizione ed applicazione della metodologia di applicazione delle opere elettriche, una volta ricostruito l'inquadramento territoriale attraverso i criteri ERA, è necessario dotarsi di altri strumenti di analisi per confrontare le diverse alternative localizzative ai livelli strutturale ed attuativo. I principali supporti utilizzati a questo proposito sono:

- una cartografia di maggior dettaglio (rilevata a scale dall'1:25.000 all'1:2.000), che rappresenti vincoli e prescrizioni contenute negli strumenti di pianificazione locali (Piani paesistici regionali e provinciali, Piani di coordinamento territoriale regionali e provinciali, Piani regolatori comunali);
- un *set* di indicatori, specifico per ogni livello di studio.

Criteri ambientali adottati: gli indicatori

La conferenza di Rio de Janeiro del 1992 ha stabilito che gli obiettivi ambientali devono necessariamente coniugarsi con quelli di carattere sociale, economico ed istituzionale, perseguendo in modo integrato l'equità nella distribuzione e nell'accesso alle risorse ambientali ed a diritti quali il lavoro, la salute, l'assistenza sociale, l'accesso ai servizi di base ecc.; tutto ciò salvaguardando il diritto delle generazioni future di godere degli stessi diritti.
Da qui deriva l'articolazione dello sviluppo sostenibile in quattro dimensioni: *sostenibilità ambientale*, *sostenibilità sociale*, *sostenibilità economica* e *sostenibilità istituzionale*.
Nella stessa sede è stato confermato e sottolineato il ruolo fondamentale degli indicatori di sostenibilità quali strumenti a supporto delle politiche di sviluppo sostenibile, in grado di redigere un "quadro diagnostico", di monitorare e verificare il raggiungimento degli obiettivi preposti.
Gli indicatori sono pertanto necessari per saldare la conoscenza con le scelte politiche tramite la cruciale valutazione delle prestazioni in termini di sostenibilità, sistemi e azioni.
Il processo di localizzazione delle nuove opere elettriche messo a punto da TERNA prevede che i prodotti di ogni fase (macroalternative, corridoi e fasce di fattibilità di tracciato) siano sottoposti ad un'analisi di sostenibilità attraverso il calcolo di indicatori specifici per ogni livello (strategico, strutturale ed attuativo).
Coerentemente con i principi espressi dalla VAS, la scelta degli indicatori da utilizzare all'interno di una pianificazione strategica deve essere un processo condiviso e partecipato: per questo motivo TERNA ha portato la sua proposta al Tavolo tecnico nazionale che, in seguito ad una lunga attività di condivisione, ha individuato ed approvato il set di indicatori finale.

Applicazione di una metodologia per la localizzazione delle nuove opere elettriche

Adel Motawi, Chiara Pietraggi
TERNA SpA

Fase Strategica: individuazione delle macroalternative

All'interno del Piano di Sviluppo predisposto annualmente da TERNA, sono presenti interventi (spesso riportati come esigenze elettriche) che non risultano localizzati elettricamente (estremi non noti). Nel pieno rispetto di quanto richiesto dalla VAS, ossia di integrare le esigenze Tecniche-Economiche di pianificazione elettrica con le problematiche Ambientali e Sociali, in questa fase vengono identificate diverse macro-alternative che necessitano di un'analisi comparativa al fine di individuare la migliore.
In tale ottica l'opportunità di definire dei MACRO-PARAMETRI di valutazione di tipo qualitativo (*Alto, Medio, Basso*) aiuta da una parte a scegliere l'alternativa elettrica migliore lasciando, comunque, ampio margine di cambiamento a valle di sviluppi imprevisti o nuovi assetti/esigenze di rete, e dall'altra aumenta il grado di trasparenza e comunicazione da parte TERNA.

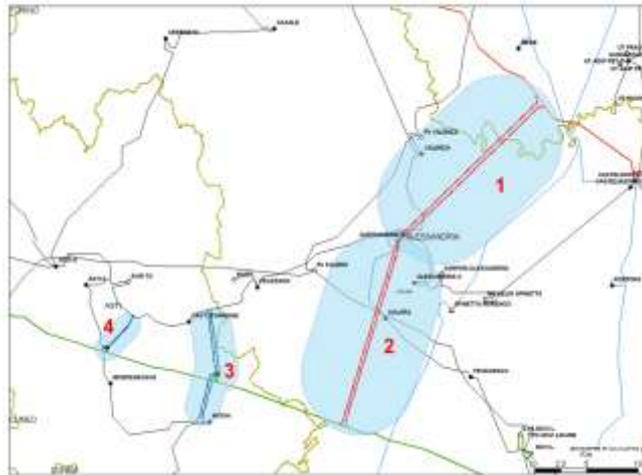



Figura 1 – Fase strategica: Individuazione delle macroalternative

La Figura 1 si riferisce agli studi condotti per l'individuazione del sito più adatto ad ospitare una nuova stazione elettrica, prevista nel PdS al fine di risolvere le congestioni della rete a 132 kV che alimenta l'area di Asti e Alessandria. La figura rappresenta le diverse soluzioni tecniche individuate al fine di fronteggiare l'esigenza: per ogni macroalternativa è stata condotta un'analisi dal punto di vista tecnico, economico, sociale ed ambientale attraverso il calcolo di sei macroindicatori (Figura 2)

	Riduzione delle congestioni	Costo investimento	Criticità socioculturale	Criticità ambientale	Km di linee da realizzare	Percentuale di esclusione
Alternativa	*Ind. T1*	*Ind. E*	*Ind. S*	*Ind. A1*	*Ind. A2*	*Ind. A3*
Alt 1	M	1,00	A	B	1,00	1,00
Alt 2	M-B	0,96	M	B	0,95	0,08
Alt 3	M-A	0,45	A	M	0,63	0,11
Alt 4	A	0,39	M	A	0,34	0,00

Figura 2 – Fase strategica: applicazione degli indicatori alle macroalternative

Dalle analisi la macroalternativa migliore è risultata essere la 4, rappresentata nella Figura 3.

Figura 3 – Fase strategica: individuazione della migliore macroalternativa

<u>Fase Strutturale: applicazione dei criteri ERA ed individuazione del corridoio ottimale</u>

Una volta definita la macroalternativa (individuati gli estremi del futuro collegamento) viene costruita e caratterizzata sotto gli aspetti territoriali e ambientali l'Area di Studio.
La caratterizzazione comporta una classificazione dell'area secondo criteri (criteri ERA) stabiliti di concerto con la Regione interessata. I tematismi considerati e gli approfondimenti effettuati sono in linea con gli obiettivi da raggiungere in questa fase.
Oggetto di indagine, infatti, non è un possibile tracciato di una linea elettrica, bensì un'area (corridoio) che presenti requisiti tecnici, ambientali e territoriali per ospitare tale tracciato. L'applicazione dei criteri ERA permette l'identificazione dei corridoi, i quali sono sottoposti ad analisi ambientale di dettaglio sulla base di emergenze bibliografiche e di opportuni sopralluoghi.
Il corridoio ottimale viene condiviso con la Regione e, tramite essa, con le Province ed i Comuni interessati.
Le figure seguenti rappresentano i diversi passaggi della fase strutturale dello studio di localizzazione dell'elettrodotto a 132 kV "Magliano - Fossano: nella Figura 4 l'applicazione dei criteri ERA all'Area di Studio, nella Figura 5 il corridoio a minor costo ambientale, nella Figura 6 il corridoio estratto e visualizzato sulle ortofoto.

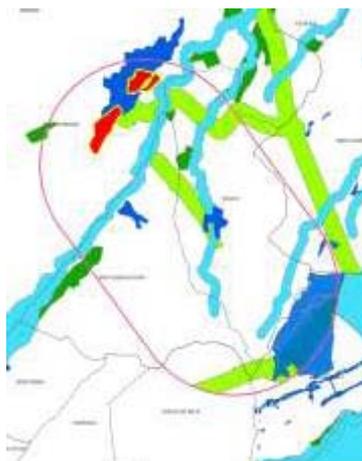



Figura 4 – Fase strutturale: applicazione dei criteri ERA

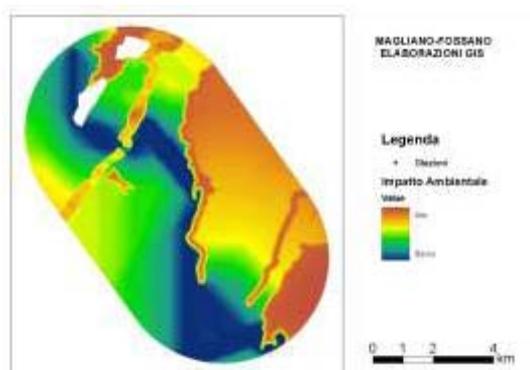



Figura 5 – Fase strutturale: individuazione del corridoio a minor costo ambientale

Figura 6 - Fase strutturale: corridoio su ortofoto

<u>Fase Attuativa: individuazione della fascia di fattibilità</u>

La terza fase (Attuativa) della VAS sviluppa ulteriormente il criterio della concertazione e costruzione condivisa delle scelte localizzative delle opere elettriche con gli EE.LL. In questa fase all'interno del corridoio precedentemente scelto si identificano di concerto con gli Enti più "fasce di fattibilità" nelle quali studiare uno o più tracciati,

individuando ad una scala di dettaglio le prescrizioni (PRGC, Vincolo idrogeologico etc.) necessarie a raggiungere il miglior inserimento dell'opera con il minor conflitto ambientale e sociale. La F**igura 7**riporta un esempio di fascia di fattibilità di tracciato individuata per gli elettrodotti a 132 kV "Val d'Ossola Sud".

Figura 7 – Fase attuativa: individuazione della fascia di fattibilità di tracciato

Sviluppi futuri

Le tecnologie GIS utilizzate, nelle tre fasi che contraddistinguono la procedura sperimentale di VAS (Strategica, Strutturale ed Attuativa), permettono di indirizzare ed oggettivizzare la scelta dell'alternativa (macro, corridoio e fascia) ambientalmente più sostenibile.

Attualmente TERNA sta elaborando metodologie di analisi GIS per la minimizzazione della percezione visiva associata alle opere, sfruttando l'orografia per il mascheramento della linea. Un primo approccio prevede un'analisi di visibilità da effettuare in fase attuativa che, sfruttando una ipotetico asse mediano della fascia di fattibilità, permetta una immediata analisi dell'impatto visivo della futura linea.

L'analisi produce una indicizzazione di aree, edifici e delle principali zonazioni da PRGC in base al loro grado di visibilità (numero di sostegni visti da ogni cella) e restituisce una mappa che, attraverso una opportuna simbologia, restituisce una stima qualitativa/quantitativa del grado di visibilità di tali aree.

La vera e propria sfida sarà, inoltre, una volta esaurita la fase programmatica ed iniziata la fase progettuale, la ricostruzione della scena tridimensionale dell'ipotetico nuovo tracciato.

In tal modo sarà possibile dare evidenza, ancora prima della presentazione del progetto preliminare, del reale sviluppo della nuova linea elettrica, ipotizzando la possibilità di valutare anche tramite un indicatore di impatto visivo le diverse alternative proposte e le varianti di tracciato richieste dagli EELL.

Database di riferimento

Una parte fondamentale della metodologia di lavoro descritta è rappresentata dall'elaborazione di dati cartografici che descrivano e rappresentino caratteristiche del territorio interessate dall'immissione di una infrastruttura elettrica: a questi dati, infatti, viene assegnata la classificazione in criteri di Esclusione, Repulsione ed Attrazione, al

fine di caratterizzare il territorio recettore ed individuarne le aree maggiormente vocate all'inserimento dell'infrastruttura (corridoi).
Per poter procedere all'elaborazione dei dati è necessario, naturalmente, entrarne in possesso. In questi anni TERNA ha sperimentato diverse modalità, dirette od indirette, per il reperimento di dati cartografici dagli Enti detentori, la tabella riporta uno schema esemplificativo.

Soggetti proprietari	**Modalità reperimento dati**
Regioni, EELL, altri soggetti pubblici o privati	Protocollo scambio dati[22]
	Acquisto diretto
	Conferimento di incarico a Società esterne
Ministeri, Enti statali	Protocollo scambio dati[4]

La diversità dei soggetti coinvolti porta con sé anche una notevole varietà di dati, specialmente per il formato e la scala di rappresentazione.
La principale difficoltà è rappresentata dall'ancora grande mole di formati cartacei che, per essere utilizzati, devono essere sottoposti ad un processo di informatizzazione.
Per il formato digitale il maggiore ostacolo è costituito, invece, dal sistema di coordinate in cui il dato viene prodotto (dovuto all'autonomia con cui ogni Ente produce la propria cartografia); l'altra difficoltà è data dalla varietà dei formati ed, in particolar modo, dall'ampio uso, soprattutto presso gli uffici tecnici, di file Autocad, adeguati per le attività di progettazione ma difficilmente gestibili nelle elaborazioni tematiche.
Proprio a causa di questa varietà, l'omogeneizzazione dei dati è un passaggio fondamentale per permetterne poi l'uso: il risultato finale del processo deve essere costituito da cartografie digitali in formato *shapefile*, uniformate per quanto riguarda il sistema di riferimento.
Nel caso in cui i dati reperiti siano in formato cartaceo bisogna procedere alla loro scannerizzazione e georeferenziazione; lo *step* successivo consiste nella digitalizzazione degli ambiti d'interesse.
Se i dati, invece, sono già in formato digitale, ci si deve assicurare che abbiano le stesse coordinate spaziali e lo stesso formato, esportando in *shapefile* eventuali dwg dopo aver corretto, se necessario, la loro topologia.
I dati così lavorati vengono utilizzati per la caratterizzazione del territorio attraverso la classificazione con i criteri ERA, per l'individuazione dei corridoi e delle fasce di fattibilità di tracciato: i rispettivi *shapefiles* vengono poi forniti alle Regioni ed agli Enti coinvolti nell'attività di concertazione.
I prodotti finali ed intermedi vengono restituiti e presentati anche in formato cartaceo tramite plotter a getto d'inchiostro HP-Designjet 5500, dotato di server di stampa ed hard disk interno ed ottimizzato per la stampa attraverso applicazioni GIS (ESRI ArcView, Autodesk Map etc.).
La Banca Dati

[22] Accordo, che può essere contenuto all'interno del Protocollo d'intesa sulla VAS o separato nel qual caso questo non sia stato siglato, in cui le parti coinvolte si impegnano al reciproco scambio di dati ed informazioni in proprio possesso.

La Banca Dati contiene dati cartografici di base e tematici di tutte le Regioni d'Italia: la necessità di garantirne un certo livello di omogeneizzazione ed una maggiore velocità di accesso ai dati ha spinto TERNA a dotarsi di una banca dati centralizzata e di una serie di procedure standardizzate.
La banca dati risiede su un server dedicato ad elevate prestazioni su cui è stato installato un *database* di livello *enterprise* (ORACLE). Nella Banca Dati confluiscono, una volta validati e omogeneizzati dal punto di vista della proiezione, del formato e della risoluzione spaziale, tutti i dati cartografici reperiti presso le amministrazioni pubbliche (Regione, Province, Comuni), Ministeri ed altri Enti.
L'applicativo utilizzato per la visualizzazione ed elaborazione delle mappe digitali è ArcView 9.1, prodotto di ultima generazione appartenente al pacchetto di prodotti della serie ArcGIS Desktop di ESRI, e relative estensioni *Spatial Analyst e 3D Analyst*.
Il *database* centralizzato installato sul server è ORACLE 9i ed è organizzato attraverso utenti univoci per ogni regione, i cui accessi, effettuati dai vari client GIS grazie all'applicativo ArcSDE 9.1, risultano regolamentati da password.
L'integrazione dei sopraindicati sistemi (Client ArcView – ArcSDE – *Database Oracle*) genera una architettura server strutturata in maniera flessibile e funzionale nella quale, attraverso i *software* ESRI, si ottiene la completa gestione del *database* geografico; ciò introduce notevoli vantaggi sia dal punto di vista gestionale che lavorativo, aumentando la velocità di accesso ai dati (raster e vettoriali) e garantendo una certa affidabilità e protezione degli stessi. Ogni utente regionale contiene al suo interno vari tematismi suddivisi in "*feature dataset*" (contenitori di dati vettoriali) e "*raster dataset*" (mosaici di dati raster).
I dati di lavorazione creati a seguito di studi ed analisi GIS, vengono salvati, invece, su *file system* all'interno dello stesso server e sono sottoposti a *backup* giornaliero assieme all'intero *database*.
Il processo di VAS previsto dall'attuale sperimentazione prevede continui confronti e recepimento di commenti da parte degli enti coinvolti a vario titolo nelle diverse fasi. Per garantire il passaggio via rete di cartografie spesso pesanti si è predisposta una interfaccia software, ancora in via sperimentale, che permette la visualizzazione e lo scambio degli elaborati cartografici oggetto di concertazione, utilizzando l'applicativo ArcIMS 9.1 ed internet come strumento di diffusione.
Un esempio della struttura del sistema può essere riassunto come nella Figura 8.

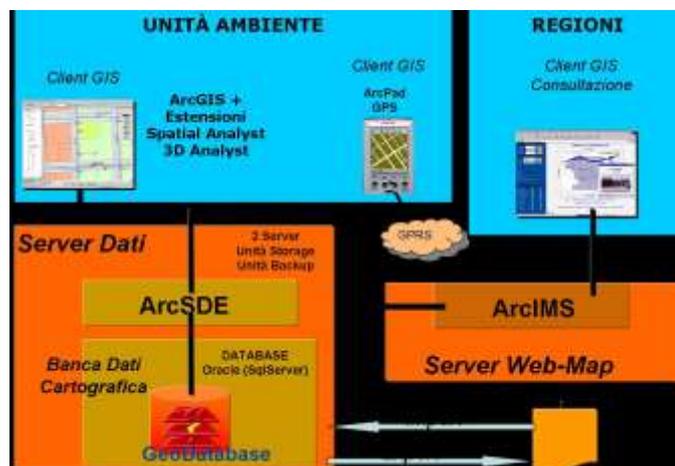



Figura 8 - Struttura del sistema

Fattori di impatto di infrastrutture viarie diverse sul paesaggio

Paolo Debernardi
ARPA Piemonte

Premessa di inquadramento

Le infrastrutture lineari viarie, fino a pochi decenni or sono, seguivano prevalentemente le condizioni territoriali predisponenti e le indicazioni stesse che la geomorfologia presentava, seguendo in molti casi le linee di forza territoriali come le principali direttrici spaziali dei corsi d'acqua, dei crinali, dei percorsi ai piedi dei versanti.
Esse si orientavano e si adattavano naturalmente al paesaggio, dirigendosi verso punti e nodi focali obbligati, come colli, valichi, selle o nei punti obbligati delle strettoie orografiche dei fondovalle; in altri casi aggirando i rilievi posti sul tracciato.
Naturalmente esistevano grandi differenze nell'organizzare i percorsi da quando ai trasporti con asini e muli, si iniziarono i primi trasporti con l'utilizzo di primitivi carri e carretti.
Solo alcune antiche civiltà del passato (Assira, Etrusca, Romana, Cinese, Inca ed Ottomana, ecc.), avevano cercato di superare e quasi annullare, seppur limitatamente ad alcuni settori del tracciato, con gallerie, ponti e sostruzioni diverse, le difficoltà ed i limiti naturali che le morfologie dei terreni, dei rilievi o delle reti idrografiche, ponevano alla progettazione del percorso.
Inoltre le dimensioni, le larghezze ed i materiali impiegati, avevano sovente una stretta correlazione con le disponibilità di materiali locali, in particolare di quelli lapidei.
In molti casi alcuni percorsi minori erano in terra battuta o semplicemente ricoperti, a tratti, con pietrisco od inghiaiati, nelle condizioni di forza maggiore per la presenza di fango ed allagamenti ripetuti.
In altri casi i percorsi viari seguivano direttamente, almeno per alcuni tratti, i tratturi di spostamento delle mandrie sui percorsi di transumanza.
In altri casi i percorsi terrestri si affiancavano a quelli fluviali o si alternavano ad essi, a seconda delle necessità
Le potenzialità tecnologiche dell'evo moderno hanno promosso, sino agli estremi limiti delle potenzialità tecnologiche, la funzionalità delle connessioni, privilegiando la linea retta e la velocità dei trasporti e della mobilità.
Per cui, oltre alla frammentazione degli habitat, alla cesura, all'invalicabilità ed all'inquinamento diffuso causato dalle moderne infrastrutture viarie, in particolare quelle autostradali, la loro presenza induce pesanti devastanti ripercussioni nella diffusione, lineare e contigua, di fabbriche e capannoni in cui l'effetto vetrina si associa a quello logistico e viario, in particolare in vicinanza ai caselli di entrata ed uscita.
Va rilevato, inoltre, come in alcuni casi, le facilitazioni logistiche connesse alla rete autostradale, contribuiscono alla formazione di "isole" di aree industriali, completamente avulse dal contesto paesistico rurale, di grande impatto ambientale, in molti casi, facilitate nel loro insediamento da minor costo dei terreni o da politiche di attrazione economica da parte dei comuni.
Fattori di deprivazione culturale (detto anche culto del "rettifilo" in società di recente e poco qualificato c.d. sviluppo), contribuiscono quasi all'ostentamento sociale per una piena visualizzazione del manufatto autostradale, contrariamente alle politiche di

mitigazione e di schermatura dell'esistente e di nuovi approcci nella progettazione delle nuove infrastrutture.
Per quanto la saturazione e l'intreccio delle stesse, con l'inesorabile espansione delle megalopoli diffuse ad esse indissolubilmente collegate, ponga il problema della drastica revisione delle politiche di trasporto, di mobilità e di congruità nelle valutazioni di impatto paesistico, merceologico ed ambientale, preliminari all'ulteriore realizzazione di tali opere.

I fattori di impatto e la loro compresenza nei diversi contesti

Nel valutare in una specifica e singolare prospettiva, gli impatti delle infrastrutture viarie sugli habitat naturali, va rilevato come l'impatto paesistico afferisce totalmente e particolarmente al piano di lettura dei disturbi arrecati ai processi percettivi e di riconoscibilità dalla frammentazione di tali ambiti.
Le cesure ed i disturbi arrecati ai paesaggi non sempre sono omologhi agli impatti puramente ambientali, anche se in alcuni casi essi possono coincidere e quasi sovrapporsi.
Nella valutazione ed analisi di tali impatti, inoltre il momento dell'analisi dovrebbe essere tenuto scisso e separato dagli aspetti connessi alle indicazioni di mitigazione.
Nell'analisi del contesto e della riconoscibilità paesistica potenzialmente o realmente compromessa dal manufatto viario, bisognerebbe approfondire la documentazione disponibile a livello internazionale, nella specifica sezione della fasi di analisi dei tracciati in relazione agli impatti derivanti ai diversi contesti.
Una prima rassegna di tali documenti potrà essere reperita nella proposta multicriteriale per la realizzazione di interventi di mitigazione contenuta nella pubblicazione ARPA PIEMONTE: "Fasce verdi polifunzionali delle autostrade", a cura di P.Debernardi e di L.Graziano, Torino, 2002 (vedasi sito web: www.arpa.piemonte.it in sez. "L'ARPA PIEMONTE – Comunicazioni)
Ma per ciò che concerne gli aspetti più squisitamente paesistici, il testo sopra citato (che peraltro riveste specifiche finalità propositive per ciò che concerne la ricostruzione vicariante di reti di connettività che utilizzano il tracciato autostradale stesso), potrebbe essere maggiormente integrato da analisi e studi tecnici concernenti lo specifico delle analisi e delle interazioni tra il manufatto(ad esempio un'autostrada) ed il contesto attraversato ivi incluse le relazioni con le cellule di visione poste alle diverse distanze ed altezze.
Un primo abaco di elementi analitici, propedeutici ad una integrazione od ad una riedizione del succitato lavoro, potrebbe integrare in modo più compiuto le tematiche paesistiche, per procedere ad una necessaria e maggiormente compenetrata sintesi operativa tra le diverse esigenze, sui due grandi versanti, quelli più squisitamente ambientali e quello maggiormente percettivi, simbolico-iconici e paesistici.
Anche l'utilizzo di tecniche di simulazione visuale e virtuale, per la propedeutica ricostruzione virtuale e quindi utilizzabili per fini operativi e di intervento in alcuni specifici segmenti dei tracciati autostradali, potrebbe.essere un settore di ulteriore impegno applicativo del Gruppo di lavoro GINESTRA.
Come prima riflessione di selezione di elementi analitici su cui restringere il campo di studio, si possono elencare (A-elementi di analisi) le seguenti caratteristiche delle diverse tipologie di infrastrutture viarie

A

1) Le dimensioni, i materiali, le colorimetrie dei manti stradali, le strutture di accompagnamento, ecc. delle reti viarie analizzate

2) Il posizionamento ed il percorso spaziale nell'ambito geomorfologico interessato ed in specifica relazione con linee di forza territoriali e direttrici spaziali lineari

3) Gli impatti nell'alterazione della riconoscibilità degli ambiti di superficie attraversati (rurali, urbani, semi-urbani, insediativi diffusi, ecc,), gli aspetti separativi, ecc.

4) Gli impatti connessi alla vicinanza od all'impatto diretto con elementi puntiformi come specifici iconemi paesistici, singole emergenze puntiformi, geotopi, siti del "genius loci"

5) Analisi delle celle di visione interne ed esterne per le eventuali schermature attiva e passiva delle opere viarie.considerate

6) Analisi degli effetti di relazione funzionale di impatto paesistico globale, nei contesti di tangenziali ed autostrade delle conurbazioni miste urbane e periurbane e delle fasce industriali contigue ("canali viari espositivi o vetrine del marchio aziendale")

Misure di mitigazione degli impatti delle infrastrutture lineari sul paesaggio

Paolo Debernardi
ARPA Piemonte

Nello specifico degli impatti sul paesaggio andrebbe analizzata la possibilità di intervento con un rimodellamento globale del contesto attraversato dall'infrastruttura, tenendo conto delle specifiche caratteristiche dei paesaggi impattati e delle specifiche valenze di pregio.
E' ovvio che gli interventi di mitigazione paesistica devono essere strettamente coordinati, ove ciò sia possibile, a quelli di tipo ambientale, connessi a matrici di analisi diverse.
E' questo lo spirito dell'approccio metodologico del lavoro ARPA PIEMONTE, precedentemente citato, sulle "Fasce polifunzionali delle autostrade".
Questo approccio dovrebbe valere anche per altre tipologie di interventi di mitigazione su cui sarebbe auspicabile la creazione di gruppi di lavoro che, nello specifico di casi-studio reali, in collaborazione con le diverse ARPA regionali e coordinati dall'APAT nazionale, potrebbero affrontare concretamente, con tutti gli altri soggetti istituzionali preposti, la creazione (qualora non già realizzate) di "Mappe analitiche regionali delle maggiori criticità ambientali e paesistiche indotte da infrastrutture viarie ed abaco degli interventi proponibili"
In particolare,integrando gli aspetti naturalistici e faunistici con quelli più squisitamente paesistici, per la creazione di (B-elementi progettuali):

B

1) Rilievi artificiali e sovrappassi per attraversamenti biotici
2) Sottopassi
3) Fasce multifunzionali vegetali lineari contigue
4) Segnalatori e dissuasori
5) Barriere ed inviti per la fauna
6) Altri elementi, come la connessione con gli elementi paesistici ed architettonici, ricuperabili nell'ambito dei percorsi, la schermatura delle autostrade e dei viadotti

Ovviamente, nel caso di altre infrastrutture lineari, come canali, ferrovie, gasdotti, metanodotti, elettrodotti alle diverse tensioni, ecc., gli interventi di mitigazione sono precipui della tipologia analizzata.
Nel caso degli elettrodotti italiani, in particolare quelli ad alta e media tensione, rinviamo, per ciò che concerne la valutazione delle criticità alla proposta: "Metodologia di analisi delle criticità ambientali e paesistiche indotte dalle linee elettriche", a cura di S. Tosatto, P. Debernardi, in corso di edizione per ARPA PIEMONTE, Torino, Maggio 2006" (in corso predisposizione spazio su sito ARPA PIEMONTE).
La metodologia è finalizzata ad individuare con analisi multifunzionali e correlate, i tratti in cui andrebbero concentrati gli sforzi di mitigazione, comprendenti sia interventi sulle tipologie delle linee sia interventi di interramento, ove ciò sia possibile, come d'altronde realizzato in molti paesi europei, nei più diversi contesi, ivi compresi tratti montani.

Tematiche ambientali nei documenti di programmazione delle infrastrutture

Roberto Ferrazza, Anna Rita Baruzzi, Romain Bocognani
Ministero delle Infrastrutture, Dipartimento per la programmazione e il coordinamento dello sviluppo del territorio, il personale e i servizi generali

Documenti di riferimento:

Quadro strategico nazionale 2007-2013

Programma operativo nazionale "Reti e mobilità"

Piano per la logistica

Introduzione: infrastrutture e ambiente

Nei documenti di programmazione delle infrastrutture di trasporto, nazionali e non, cresce l'attenzione per l'interazione tra tali infrastrutture e l'ambiente in cui vengono realizzate.
La crescente domanda di mobilità e la realizzazione di infrastrutture di trasporto, pur creando occasioni di occupazione e sviluppo economico, hanno la conseguenza quasi inevitabile di incidere sull'ambiente che, tuttavia, va preservato per garantire un'elevata qualità della vita – alle generazioni attuali così come a quelle future – ed evitare che i costi esterni dell'inquinamento, dell'incidentalità, del consumo energetico e delle risorse rare/irriproducibili in natura possano lievitare fino a superare livelli di normale e ragionevole ammissibilità.

In tale contesto, il settore dei trasporti assume un ruolo fondamentale nel garantire il rispetto del principio dello sviluppo sostenibile inteso come processo di cambiamento nel quale lo sfruttamento delle risorse, l'andamento degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico ed i mutamenti istituzionali sono in reciproca armonia ed incrementano il potenziale attuale e futuro di soddisfazione dei bisogni e delle aspirazioni umane. La definizione di "sviluppo sostenibile" assume, dunque, la necessità di assicurare il soddisfacimento dei bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni".

Con riferimento all'uso delle risorse ambientali, il PON 2007-2013 fissa alcuni obiettivi generali:

- *utilizzazione delle risorse rinnovabili ad un tasso non superiore al loro tasso di rigenerazione;*
- *immissione di sostanze inquinanti nell'ambiente in quantità non superiore alla "capacità di carico" dell'ambiente stesso;*
- *conservare costante nel tempo lo stock di risorse non rinnovabili.*

I costi ambientali del trasporto si riferiscono ad impatti macro, ravvisabili a livello di aree territoriali di ampia dimensione, e <u>impatti territorialmente localizzati in prossimità dei corridoi infrastrutturali</u>. Fanno parte degli aspetti macro il contributo dei trasporti alle emissioni e all'alterazione del clima, alcuni aspetti relativi all'inquinamento

transfrontaliero (acidificazione dei suoli e delle acque). Gli impatti localizzati, invece, hanno a che vedere con l'inquinamento dell'aria, il rumore, l'effetto di barriera, i danni al paesaggio, i rischi per la stabilità dei suoli e per l'inquinamento delle acque superficiali e profonde. Parte di tali esternalità è già internalizzata con strumenti fiscali, con meccanismi assicurativi, o nella misura in cui i costi generati sono sostenuti dagli stessi soggetti che li generano (ad es. una quota del costo degli incidenti). Si ha ragione, tuttavia, di ritenere che in molti contesti la quota di esternalità non "internalizzata" sia elevata, generando inefficienza economica, gravi danni alle persone ed effetti climatici planetari di grande rilevanza.

Dal settore dei trasporti, non emergono segnali tali da far ritenere che le forze di mercato operino nel senso di una riduzione generalizzata della pressione ambientale.

Nel contesto del Sesto Programma Comunitario di Azione in materia di ambiente, il settore dei trasporti costituisce un'area di intervento prioritaria all'interno della strategia tematica di prevenzione dei cambiamenti climatici nonché un ambito di primaria importanza nell'azione di riduzione dell'inquinamento atmosferico ed acustico per la difesa della salute pubblica e della **funzionalità degli ecosistemi.**

Per quanto riguarda la linea di intervento relativa alla prevenzione e mitigazione dei cambiamenti climatici, coerentemente con l'impegno assunto dall'Unione Europea in sede di approvazione del protocollo di Kyoto (riduzione dell'8% delle emissioni nette di gas serra, rispetto ai livelli del 1990, entro il 2008-2012, Dec. 2002/358/CE), le azioni che devono essere perseguite con riferimento ai trasporti sono:

- individuare e intraprendere atti specifici per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra derivanti dai veicoli a motore, dai settori dell'aviazione e della navigazione marittima;
- promuovere lo sviluppo e l'uso di carburanti alternativi e di veicoli a basso consumo energetico;
- promuovere misure volte a tener conto della totalità dei costi ambientali nel prezzo dei trasporti;
- dissociare la crescita economica e la domanda dei trasporti per ridurre l'impatto ambientale.

I miglioramenti tecnologici e l'innalzamento dell'efficienza energetica già conseguiti dalle attività industriali, dalla produzione di energia e dai consumi civili fanno dei trasporti uno dei più urgenti campi d'azione per conseguire gli obiettivi di Kyoto. In particolare, la comunicazione della Commissione europea del marzo 1998 su *"Trasporti e CO_2, per un approccio comunitario"* indica la necessità di raggiungere tali obiettivi di riduzione attraverso un approccio integrato, che consideri contemporaneamente il livello delle città, delle Regioni e degli Stati e, al tempo stesso, una molteplicità di politiche normative, organizzative, tariffarie, infrastrutturali tra di loro coerenti e connesse.

Infrastrutture ed ambiente nei principali documenti di programmazione
"Orientamenti strategici comunitari" (OSC)

Nell'indirizzare la conformazione, da parte di ciascuno Stato membro, dei rispettivi QSN e, quindi, dei Programmi operativi per il 2007-2013, gli OSC richiamano l'attenzione sulla necessità di convogliare le risorse della politica di coesione verso tre priorità sostanziali. Fra queste, ai fini di una efficace attuazione della politica regionale unitaria, ma soprattutto dell'elaborazione del PON "Reti e mobilità" che insiste sulle regioni CONV (Calabria, Campania, Puglia, Sicilia), assume grande rilievo la priorità 1 tesa a *"rendere più attraenti gli Stati membri, le regioni e le città migliorando l'accessibilità, garantendo una qualità e un livello adeguati di servizi e **tutelando l'ambiente**"*. A livello strategico generale gli OSC individuano nel settore dei trasporti – nei suoi profili di efficienza, sicurezza, modernità e sostenibilità – uno dei fattori fondamentali per favorire, al contempo, sviluppo socio-economico, attrattività dei territori, competitività di impresa.

Come di seguito esposto, il PON "Reti e mobilità", così come il PNM "Reti e mobilità" relativo alle otto regioni del Mezzogiorno, recepisce il primo indirizzo prioritario degli OSC assegnando agli interventi di ***"potenziamento delle infrastrutture di trasporto"*** un ruolo sostanziale per stimolare la crescita e la coesione dei territori in quanto capaci di garantire maggiori e più efficienti flussi di merci e di persone, soprattutto con riferimento alle aree maggiormente isolate che necessitano di una "messa in rete" per poter accedere alle direttrici principali: privilegiando modalità alternative al trasporto su gomma, ma anche rafforzando o costruendo **collegamenti stradali complementari** là dove la rete esistente si mostra inadeguata a sostenere processi di crescita economica e a garantire una mobilità sicura. Infatti, puntando sullo sviluppo di infrastrutture di trasporto a livello europeo – segnatamente le tratte delle reti transeuropee riguardanti i 30 progetti TEN-T –, il PON riconosce nel rafforzamento delle reti infrastrutturali principali anche la possibilità di contribuire, in misura significativa, alla **riduzione della "marginalità/perifericità"** che pregiudica crescita e sviluppo di molti contesti: e ciò con riguardo sia alle realtà intercluse delle regioni in Obiettivo Convergenza, sia ai territori transfrontalieri che, più di altri, sono esposti al rischio di marginalizzazione a fronte dell'allargamento dell'Unione.

Quadro strategico nazionale

Il QSN, che costituisce il principale riferimento di coerenza programmatica e strategica per il PON "Reti e mobilità", così come per il PNM "Reti e mobilità", stabilisce in modo unitario gli obiettivi, le priorità, le regole della politica regionale di sviluppo. Il Quadro mira a rimuovere la persistente difficoltà a offrire servizi collettivi in ambiti essenziali per la qualità della vita e l'uguaglianza delle opportunità ai cittadini.

Le dieci priorità tematiche del QSN sono raggruppate nei seguenti quattro macro obiettivi:

(a) sviluppare i circuiti della conoscenza;

(b) accrescere la qualità della vita, la sicurezza e l'inclusione sociale nei territori;

(c) potenziare le filiere produttive, i servizi e la concorrenza;

(d) internazionalizzare e modernizzare l'economia, la società e le amministrazioni

In particolare nel macro obiettivo c) sono ricomprese le priorità più strettamente legate al tema ambientale, sia quelle legate alla mobilità e alla competitività :

- Valorizzazione delle risorse naturali e culturali per l'attrattività per lo sviluppo (Priorità 5);
- Reti e collegamenti per la mobilità (Priorità 6);
- Competitività dei sistemi produttivi e occupazione (Priorità 7);
- Competitività e attrattività delle città e dei sistemi urbani (Priorità 8).

Tale macro obiettivo costituisce ambizione fondamentale della politica regionale unitaria nel suo orientamento a promuovere lo sviluppo economico dei territori. La strategia propone diversi percorsi, da considerarsi a seconda degli ambiti di intervento e dei territori, accomunati da un richiamo comune al rilievo che hanno le condizioni di contesto e di credibilità dell'agire pubblico per gli operatori privati, all'importanza di non frammentare gli interventi.

Si sottolinea la compresenza delle tematiche relative all'ambiente, alla mobilità (di seguito approfondite), alla competitività, a testimoniare la necessità di affrontare tutti questi aspetti non separatamente ed i maniera disgiunta, ma in una visione di equilibrio complessivo tra le varie componenti.

Priorità 6. Reti e collegamenti per la mobilità

L'accessibilità dei territori italiani è penalizzata sia dalle ridotte e inadeguate dotazioni infrastrutturali, sia, soprattutto, dall'esistenza di specifiche strozzature lungo gli assi e i collegamenti con i territori, con pesanti ricadute sul costo dei trasporti e della logistica.

Da questo punto di vista, per garantire le pre-condizioni di uno sviluppo equilibrato, l'Italia va considerata come un unico spazio economico e di vita, all'interno del quale garantire, colmando i divari fra le aree del Paese, reti e nodi logistici funzionali allo sviluppo, in coerenza con la vocazione ambientale e turistica del Paese e del suo Mezzogiorno (più ferrovie, più mare, più trasporto aereo) nel rispetto delle compatibilità ambientali. Questa Priorità si articola in un Obiettivo Generale e in tre obiettivi specifici.

Obiettivo generale (6.1.) *"Accelerare la realizzazione di un sistema di trasporto efficiente, integrato, flessibile, sicuro e sostenibile per assicurare servizi logistici e di trasporto funzionali allo sviluppo*".

Per ottenere un appropriato impatto territoriale deve essere assicurata una visione unitaria attraverso la massima integrazione tra politiche delle reti e politiche territoriali

Per massimizzare l'efficacia delle strategie, va superata la separazione fra progettazione delle opere e valutazione della loro funzione, per disegnare contestualmente l'infrastruttura, la sua manutenzione e il servizio offerto. Nel contempo occorre tenere conto dei vincoli e delle condizioni di contesto (ambientali, sociali, tecniche, economico-finanziarie, normative e procedurali) e della sostenibilità gestionale e finanziaria, anche attraverso un opportuno processo di selezione dei progetti che privilegi indicatori e obiettivi di "efficacia logistica" (riequilibrio modale, decongestionamento delle aree metropolitane, integrazione con il sistema territoriale dei trasporti). In tale ambito, la strategia delineata contribuirà altresì a ridurre l'inquinamento atmosferico dovuto a ossido d'azoto e polveri sottili e a contrastare i

cambiamenti climatici, rispetto ai quali le scelte operate in questo settore sono determinanti.

L'obiettivo generale sopra descritto si declina nei tre obiettivi specifici che seguono:

6.1.1. Contribuire alla realizzazione di un sistema logistico nazionale, supportando la costruzione di una rete nazionale di terminali di trasporto e di logistica, integrata, sicura, interconnessa ed omogenea.

6.1.2. "*Promuovere la mobilità urbana sostenibile, la connessione delle aree produttive e dei sistemi urbani alle reti principali e le sinergie tra i territori e i nodi logistici".*

6.1.3. "Migliorare i servizi di trasporto a livello regionale e favorire l'accessibilità delle aree

periferiche: promuovere modalità sostenibili".

Nella descrizione dei tre obiettivi specifici si sottolinea la necessità di prestare attenzione agli aspetti di sostenibilità ambientale dei trasporti, anche attraverso la ricerca di una maggiore integrazione del disegno progettuale con i vincoli della pianificazione territoriale e paesistica e di uso del territorio, accompagnando l'iter di maturazione del progetto, anticipando i momenti e risolvendo i motivi di possibili rallentamenti.

Anche gli aspetti relativi all'ottimizzazione dell'utilizzo dell'infrastruttura di trasporto, sono visti in un'ottica di sostenibilità ambientale, anche attraverso un mix di politiche che indirizzino la domanda verso scelte di mobilità più efficienti e razionali.

È opportuno agire con offerte innovative di modernizzazione delle infrastrutture e delle modalità del trasporto pubblico che consentano di passare, dall'attuale modello basato sulla mobilità privata su gomma, a modelli tendenzialmente più sostenibili anche sotto il profilo ambientale, senza peraltro rinunciare al policentrismo, sperimentando anche percorsi innovativi.

Una più forte attenzione al miglioramento del Trasporto Pubblico Locale (TPL) è essenziale per poter puntare ad un effettivo riequilibrio modale e sostenere uno sviluppo equilibrato. (togliere)

Programma Operativo Nazionale "Reti e Mobilità"

Coerentemente con quanto sopra esposto, il Ministero delle infrastrutture, sta elaborando il Programma Operativo *Reti e Mobilità,* tenendo conto dei predetti principi di sostenibilità affermati a livello europeo.

Il PON "Reti e mobilità", oltre a perseguire gli obiettivi indicati nei documenti precedentemente segnalati, contribuisce in misura rilevante anche al conseguimento degli obiettivi della Strategia rinnovata di Lisbona e delle cinque priorità tematiche identificate nel PICO, ossia il Piano che declina, a livello nazionale, le 24 linee guida assegnate al rilancio della Strategia di Lisbona. Nello specifico, in considerazione delle peculiarità dell'economia italiana, il PICO promuove interventi strutturali agendo attraverso le seguenti categorie operative:

1. ampliamento dell'area di libera scelta dei cittadini e delle imprese

2. incentivazione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica
3. rafforzamento dell'istruzione e della formazione del capitale umano
4. adeguamento delle infrastrutture materiali e immateriali
5. **tutela ambientale.**

In linea con il rilancio della Strategia di Lisbona e con il PICO che ne recepisce le linee-guida, il PON "Reti e mobilità" concorre principalmente al conseguimento dei seguenti provvedimenti di carattere generale promossi a livello nazionale:

- creazione o completamento di reti infrastrutturali per i collegamenti interni, intraeuropei e internazionali, con un particolare impegno nella realizzazione delle autostrade del mare;
- attuazione della "politica di coesione europea" volta a ridurre le disparità economiche tra le aree interne all'Unione, con particolare attenzione al Mezzogiorno d'Italia;
- liberalizzazione dell'offerta nel settore dei servizi in linea con gli orientamenti e le decisioni (definiti) in sede europea; più libera espressione sia del mercato nei settori indicati dall'Autorità garante della concorrenza e dalle Autorità di settore, sia dei prezzi per l'intera economia; […].

Il PON promuove iniziative fortemente connesse alla priorità 4 del PICO *"Adeguamento delle infrastrutture materiali e immateriali"*; tuttavia, esse mostrano elevati profili di coerenza anche con le priorità 2 *"Incentivazione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica"* e 5 *"Tutela ambientale"*.

In particolare rispetto a quest'ultima priorità 5 il PON concorre, attraverso la promozione di interventi (a carattere materiale e immateriale) a favore dell'intermodalità e del riequilibrio modale, alla riduzione dei gas serra e, quindi, al rispetto degli impegni assunti con il protocollo di Kyoto. Inoltre, ai fini di concorrere alla tutela e salvaguardia dell'ambiente, il PON intende promuovere appalti pubblici basati sulle "prestazioni ambientali", ossia incentivare i c.d. "appalti verdi".

Ai fini di concretizzare un sistema dei trasporti coerente con gli obiettivi di sostenibilità ambientale e di sicurezza stabiliti dall'Unione e, nel contempo, incrementare lo sviluppo del Mezzogiorno, gli interventi previsti mirano a:

- la migliore utilizzazione delle infrastrutture, dei servizi e dei mezzi (politiche regolatorie, pedaggi, regolamentazione della velocità, tecnologie informatiche applicate al controllo e alla regolazione del traffico);
- lo sviluppo dei traffici merci sulle medie e lunghe distanze con modalità di trasporto maggiormente sostenibili rispetto a quella stradale, segnatamente il rilancio del trasporto di cabotaggio, lo sviluppo delle Autostrade del Mare, il sostegno del trasporto combinato strada-rotaia, l'incentivazione all'uso della ferrovia, anche in riferimento al trasporto dei rifiuti e delle merci pericolose;
- la promozione e la crescita del trasporto combinato attraverso una ristrutturazione della catena logistica che persegua obiettivi concreti di miglioramento ambientale (rispetto dei limiti di concentrazione degli inquinanti atmosferici, rispetto dei limiti

di rumore, mantenimento delle biodiversità, emissioni di CO_2 entro i parametri di Kyoto);

- l'adozione, per il trasporto merci su strada, di misure di contenimento dei costi di gestione delle imprese italiane al fine di allinearli alla media europea, per consentire alle nostre aziende di competere efficacemente sul mercato comunitario;
- lo sviluppo e la diffusione di tecnologie d'avanguardia volte al miglioramento dell'efficienza del parco circolante, nel rispetto delle compatibilità ambientali e, nel contempo, all'aumento della sicurezza e della competitività.

Lo sviluppo di una "mobilità sostenibile" rappresenta, un tema centrale nell'ambito del PON "Reti e mobilità", le cui proposte settoriali assumono come obiettivo rilevante l'abbattimento degli attuali livelli di inquinamento, sia quello i cui impatti si manifestano su scala globale (effetto serra), sia quello i cui impatti si esplicano in ambiti territoriali più circoscritti, incidendo negativamente sulla salute e, più in generale, sulla qualità della vita delle popolazioni più esposte a tali fenomeni. In particolare, gli Assi prioritari, nonché i rispettivi obiettivi specifici/operativi, sono stati individuati nell'ottica di uno sviluppo sostenibile; essi, infatti, contribuiscono indirettamente alla diminuzione dell'inquinamento laddove sono tesi al miglioramento dei servizi, al riequilibrio e all'integrazione modale.

Ai fini di uno sviluppo equilibrato e – nel contempo – competitivo del settore dei trasporti e della logistica nelle aree CONV e nel Mezzogiorno il Programma si fonda su una strategia che, coniugando tra loro profili di valenza settoriale e territoriale, mira al rafforzamento sia dell'armatura infrastrutturale portante – potenziamento dei nodi logistici e delle principali direttrici di trasporto – che delle sue connessioni con i sistemi locali.

L'articolazione strategica dell'obiettivo globale in assi, obiettivi specifici ed obiettivi operativi trova, puntuale corrispondenza nell'impianto programmatico del QSN.

L'impostazione strategica del PON e della politica regionale unitaria ruota, attorno alla compresenza dei seguenti elementi:

- coniugare tra loro profili "settoriali" e profili "territoriali", interpretando il binomio "competitività↔coesione" come elemento cardine, da declinare e applicare con intensità diverse a seconda dei contesti territoriali di riferimento e a loro specifiche potenzialità di crescita (in linea con l'Allegato Infrastrutture al DPEF e con il QSN)
- sostenere un sistema complessivo di trasporto
- promuovere e attivare di forme di investimento miste,
- intervenire anche a sostegno della domanda (potenziale o inespressa) degli operatori privati del settore della logistica;

Il Programma persegue, pertanto, le seguenti priorità strategiche – in linea di massima compresenti in tutti gli Assi, seppure con diversa incisività – tese a garantire:

- riequilibrio modale, ovvero a indirizzare la domanda di mobilità verso le modalità più efficienti sotto gli aspetti economico, sociale e ambientale nei diversi contesti;
- intermodalità, favorendo sia l'interconnessione tra le grandi direttrici di traffico e le reti di trasporto locale, sia l'integrazione tra diverse modalità di trasporto;

- accessibilità e mobilità;
- qualità ed efficienza;
- riduzione degli impatti ambientali sia sul fronte delle infrastrutture di trasporto, sia sul fronte delle emissioni (aria, rumore); attraverso il miglioramento complessivo di efficienza del sistema dei trasporti e il riequilibrio modale a favore della ferrovia e del mare sarà infatti possibile contribuire, in maniera quantificabile, al rispetto degli impegni assunti dall'Italia sulla riduzione dei gas a effetto serra (protocollo di Kyoto).

L'**obiettivo globale** che il PON "Reti e mobilità" intende perseguire nell'ambito della politica regionale unitaria è identificato nella prospettiva strategica di *"Contribuire alla valorizzazione della posizione del Paese nel bacino del Mediterraneo e, soprattutto, dei territori peninsulari e insulari del Mezzogiorno ai fini di realizzare una piattaforma logistica quale testa di ponte dell'U**e** verso il sud del Mediterraneo, in una logica tesa – contestualmente – alla sostenibilità ambientale, alla sicurezza, all'efficienza dei servizi offerti e all'affermazione di processi di sviluppo socio-economico e territoriale basati sulla coniugazione dei concetti di competitività e di coesione".*

La strategia del Programma trova attuazione declinandosi nei seguenti tre **obiettivi specifici**:

1. ***Realizzare un'efficiente ed efficace armatura logistica del Mediterraneo*** *affidando al Mezzogiorno un ruolo strategico nello sviluppo delle infrastrutture nodali di interesse nazionale, in particolare le Autostrade del Mare e le iniziative dislocate lungo il Corridoio TEN-T "Berlino-Palermo";*
2. ***Sostenere l'aggancio del sistema-Paese alle reti per il trasporto e la mobilità (di merci, di persone, di conoscenze) di rilevanza nazionale e internazionale*** *ai fini di accrescere i livelli di competitività e di fruibilità del sistema logistico;*
3. ***Rafforzare le competenze tecniche, operative e di governo dell'Autorità di Gestione, delle Amministrazioni regionali e degli Enti attuatori*** *ai fini di incrementare l'efficacia della programmazione e la qualità degli interventi.*

In relazione a tali obiettivi specifici, il Programma è articolato in **Assi prioritari**: a ciascun obiettivo specifico corrisponde un ***Asse prioritario:***

Asse I: Sviluppo delle infrastrutture nodali di trasporto e logistica;

Asse II: Potenziamento delle connessioni tra sistemi locali e sistema infrastrutturale superiore;

Asse III: Assistenza tecnica.

L'**Asse I** si propone di potenziare la rete nazionale di terminali di trasporto e logistica ai fini di rafforzare il ruolo strategico del Mezzogiorno quale piattaforma logistica del Mediterraneo nella dinamica dei traffici mondiali, in particolare concentrandosi sullo sviluppo delle Autostrade del Mare (Corridoio n.21) e delle infrastrutture nodali dislocate lungo il Corridoio TEN-T "Berlino-Palermo" (Corridoio n.1). In particolare, l'Asse finalizza la propria azione al rafforzamento e alla creazione di sinergie tra il

sistema portuale, il sistema aeroportuale e il sistema intermodale delle aree meridionali, sostenendo così:

L'**Asse II** indirizza, invece, la propria strategia verso il potenziamento delle connessioni tra i sistemi locali (produttivi e urbani) e l'armatura infrastrutturale di rilevanza nazionale e internazionale, sostenendo così processi di sviluppo e internazionalizzazione del Mezzogiorno alimentati, soprattutto, dai territori già collocati in posizione di "eccellenza competitiva".

In entrambi gli assi si favoriscono interventi finalizzati prevalentemente a:

- l'integrazione di infrastrutture e di servizi di trasporto multimodale
- il riequilibrio modale,
- il miglioramento della qualità dei servizi di trasporto offerti, gli standard di sicurezza e le tecniche di gestione per rendere più fluidi i flussi di traffico, anche sviluppando sistemi informativi e telematici;
- la riduzione degli impatti ambientali, sia sul fronte delle infrastrutture di trasporto che sul fronte delle emissioni (aria, rumore).

Con riferimento alla ripartizione dei fondi, le categorie di spesa rispondono agli obiettivi di Lisbona:

➢ il trasporto ferroviario viene rafforzato rispetto al precedente periodo di programmazione, in particolare per quanto riguarda le tratte ricadenti sulla Rete TEN-T, alle quali è destinato il 28,1% della dotazione finanziaria del PON.

➢ i collegamenti stradali e autostradali (che insieme assorbono il 27% delle risorse PON) sono prevalentemente finalizzati a rafforzare il Corridoio 1 "Berlino-Palermo" e le connessioni con le reti ferroviarie TEN-T, e quindi a consentire l'aggancio dei sistemi produttivi e urbani alle reti principali.

➢ al sistema portuale, anch'esso programmato in misura rilevante e di molto superiore rispetto al periodo 2000-2006 (12% contro il 7%), è assegnato un ruolo centrale nello sviluppo delle Autostrade del Mare.

➢ alle azioni rivolte all'intermodalità sono destinate risorse in misura percentualmente superiore al 2000-2006 (orientativamente il 5,0% rispetto all'1,2%), da destinare, tra l'altro, alla creazione e potenziamento di sistemi informativi di controllo e gestione del traffico, soprattutto merci, nonché interventi finalizzati al miglioramento della navigazione aerea.

Valutazione ambientale strategica nel PON Reti e mobilità.

L'approccio adottato dal PON per il perseguimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile, in coerenza con l'art.17 del Reg. (CE) n.1083/2006, è diretto ad assicurare l'integrazione della componente ambientale e a incentivare le azioni a favore di uno sviluppo sostenibile del territorio. Al fine di garantire la piena integrazione della componente ambientale a livello di strategia l'Autorità di Gestione ha avviato il processo di **Valutazione Ambientale Strategica** utilizzando una metodologia formulata sulla base delle "*Linee Guida elaborate dalla Rete nazionale delle Autorità*

Ambientali e delle Autorità della Programmazione dei Fondi Strutturali comunitari per l'applicazione della VAS alla programmazione 2007-2013".

In tale ambito è prevista una prima fase (*Scoping*) in cui vengono individuate e consultate le **Autorità** con specifiche competenze ambientali in relazione alla Redazione del **Documento di Scoping** contenente una proposta della struttura del Rapporto Ambientale.

Nella successiva seconda fase si procede alla *Stesura del Rapporto Ambientale*; è necessario aver elaborato una **Proposta di Piano**, alcune sue **ragionevoli alternative** e una descrizione e valutazione degli effetti ambientali derivanti dalla loro attuazione.

Nella stessa fase si procede anche alla definizione delle **misure per il monitoraggio** del PON necessarie a: a) il controllo degli effetti ambientali significativi; b) il controllo degli effetti negativi imprevisti; c) l'adozione delle misure correttive che si riterranno più opportune; successiva individuazione di **indicatori di efficacia** e di **indicatori di efficienza** rappresentativi del contesto di attuazione del PON.

Nella terza fase si provvede alla consultazione delle **Autorità** e dei **settori del pubblico** per consentire loro di esprimere un parere sulla proposta di PO e sul Rapporto Ambientale (inclusivo della **Sintesi non tecnica**) prima dell'adozione del PON.

Dopo la redazione e adozione del PO definitivo sulla base dei risultati della fase di consultazione è prevista l'elaborazione della **Dichiarazione di Sintesi** che deve illustrare: a) in che modo le considerazione ambientali sono state integrate nel PON; b) in che modo si è tenuto conto del Rapporto Ambientale e dei risultati delle consultazioni; c) i motivi per cui è stato scelto il PO adottato fra le possibili alternative che erano state individuate.

P.O., Dichiarazione di sintesi e Misure di monitoraggio vengono messe disposizione di **Autorità** e **Pubblico.**

Infine si procederà alla fase di a*ttuazione del PO e monitoraggio*, così articolata:

- Raccolta di tutti i dati e di tutte le informazioni necessarie per far partire il sistema di monitoraggio
- Verifica periodica dello stato di avanzamento del PO e della sua efficacia
- Redazione delle **Relazioni di Monitoraggio**.

Le politiche di sviluppo territoriale mirano a garantire uno sviluppo equilibrato e sostenibile, in armonia con gli obiettivi fondamentali della politica comunitaria, ovvero la coesione economica e sociale, la competitività economica basata sulla conoscenza e conforme ai principi dello sviluppo sostenibile , la conservazione della diversità delle risorse naturali e culturali.

Tra i fattori e le componenti ambientali più significative in relazione alle caratteristiche del PON "Reti e Mobilità", oltre alla *qualità dell'aria , al rumore, alle risorse idriche*,… sono tenute in considerazione, le tematiche relative a *suolo e sottosuolo, aree naturali e biodiversità, ambiente marino o costiero aree rurali o di interesse agroforestale,…*

Ad ognuno degli obiettivi di protezione ambientale vengono associati dei target di riferimento definiti a livello nazionale e comunitario ed un set di indicatori necessario per il monitoraggio degli effetti ambientali del PON "Reti e Mobilità".